ING. TRAIAN CĂNESCU
ING. SANDA CĂNESCU

MANUALUL ELECTRICIANULUI DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII INDUSTRIALE

pentru școlile profesionale, anul III

Ing. TRAIAN CĂNESCU

Ing. SANDA CĂNESCU

Chiru Elena Chiru Traian

MANUALUL ELECTRICIANULUI DE CONSTRUCȚII ȘI INSTALAȚII INDUSTRIALE

— pentru școlile profesionale, anul III —

R. S. R.
MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÂNTULUI
ȘCOALA PROF. DE CONSTRUCȚII
IAȘI
Str. Sărăriei nr. 189

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ
BUCUREȘTI — 1972

DA

CAPITOLUL I

TRANSFORMATOARE ELECTRICE

Avînd în vedere că transformatoarele electrice sînt aparate de neînlocuit în rețelele de transport și distribuție a energiei electrice, în cadrul industrializării socialiste producția de transformatoare s-a dezvoltat vertiginos. Transformatoarele de mică putere se produc la întreprinderea „Electrotehnica" — București, iar transformatoarele mari la „Electroputere" — Craiova. Numărul mare de transformatoare necesare atît economiei naționale, cît și pentru export au creat necesitatea construirii unei noi fabrici de transformatoare la Băilești — județul Dolj.

O realizare recentă și de mare prestigiu pentru industria noastră electrotehnică o constituie executarea la „Electroputere" — Craiova a autotransformatoarelor de 400 MVA, necesare centralei electrice de la Porțile de Fier.

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

1. DESCRIERE GENERALĂ

Transformatorul electric este un aparat de curent alternativ, care transmite prin inducție mutuală putere electromagnetică dintr-o înfășurare primară într-una secundară.

În general, tensiunea și curentul din secundar au valori diferite față de tensiunea și curentul din primar, frecvența rămînînd aceeași.

● **Elementele componente** ale unui transformator (fig. 1-1) sînt :

— *miezul feromagnetic* (*1*), ce servește ca circuit al fluxului magnetic ;

— *o înfășurare* (sau un sistem de înfășurări) *primară* și o *înfășurare* (sau un sistem de înfășurări) *secundară (2, 3)*, nelegate electric între ele (cu excepția autotransformatorului).

Se consideră ca *înfășurare primară* înfășurarea care este conectată la sursa de alimentare a transformatorului, iar cea care alimentează circuitul de utilizare se numește *înfășurare secundară*.

Mărimile care se referă la înfășurarea primară se numesc primare și sînt afectate de indicele *1* (de exemplu, tensiune primară u_1, curent primar i_1 și putere primară p_1 etc. . .), iar cele care se referă la înfășurarea secundară se numesc secundare și sînt afectate de indicele *2* (de

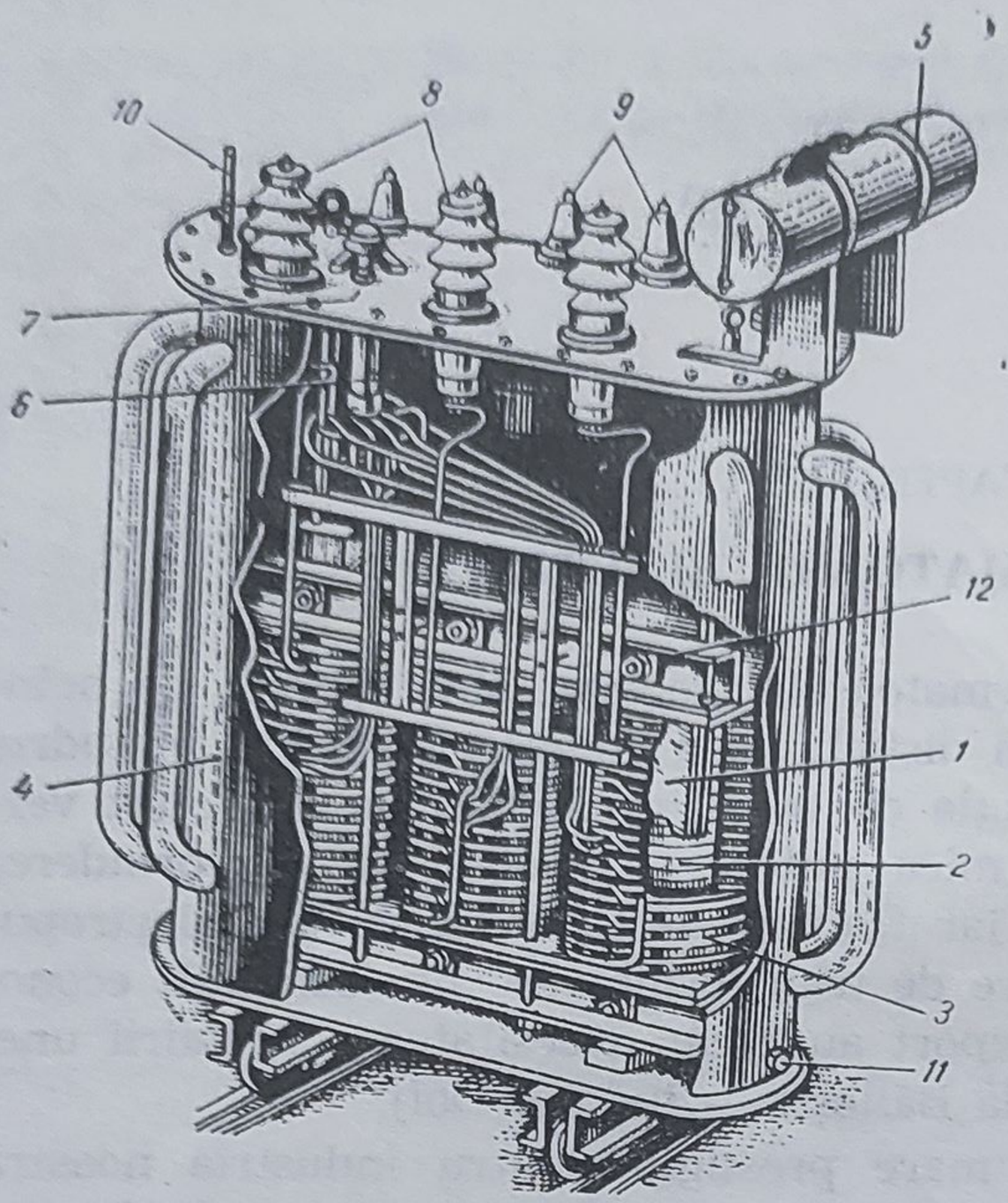


Fig. 1-1. Transformator trifazat :
1 — circuitul magnetic ; *2* — înfășurarea primară ; *3* — înfășurarea secundară ; *4* — cuva ; *5* — conservatorul ; *6* — comutatorul ; *7* — maneta comutatorului ; *8* — bornele înfășurării primare (de înaltă tensiune) ; *9* — bornele înfășurării secundare (de joasă tensiune) ; *10* — termometru ; *11* — robinet pentru scurgerea uleiului ; *12* — schela.

exemplu, tensiune secundară u_2, curent secundar i_2 și putere secundară p_2 etc. . .) ;

— elemente auxiliare ca : borne (*8*, *9*), schela (*12*), cuva (*4*), conservatorul (*5*) etc.

2. CLASIFICARE

Transformatoarele se pot clasifica din mai multe puncte de vedere, funcționale și constructive.

● **După sistemul de curent** (alternativ monofazat sau polifazat) se deosebesc *transformatoare monofazate* și *transformatoare polifazate*. Transformatoarele monofazate au o singură înfășurare primară și una sau mai multe înfășurări secundare. Transformatoarele polifazate au mai multe înfășurări primare și secundare. Dintre transformatoarele polifazate, cele mai răspîndite sînt transformatoarele trifazate.

● **După felul circuitului magnetic,** se deosebesc *transformatoare cu coloane,* al căror circuit feromagnetic are coloane paralele și pe unele dintre ele — înfășurări electrice înconjurate numai parțial de fier (fig. 1-2, *a*) *și transformatoare în manta,* ale căror înfășurări sînt înconjurate în cea mai mare parte de fier (fig. 1-2, *b*).

● **După cuplajul înfășurărilor electrice primare și secundare,** se deosebesc *transformatoare cu înfășurări separate*, ale căror înfășurări sînt cuplate numai magnetic și *autotransformatoare*, ale căror înfășurări sînt cuplate magnetic și electric (au părți de înfășurare comune).

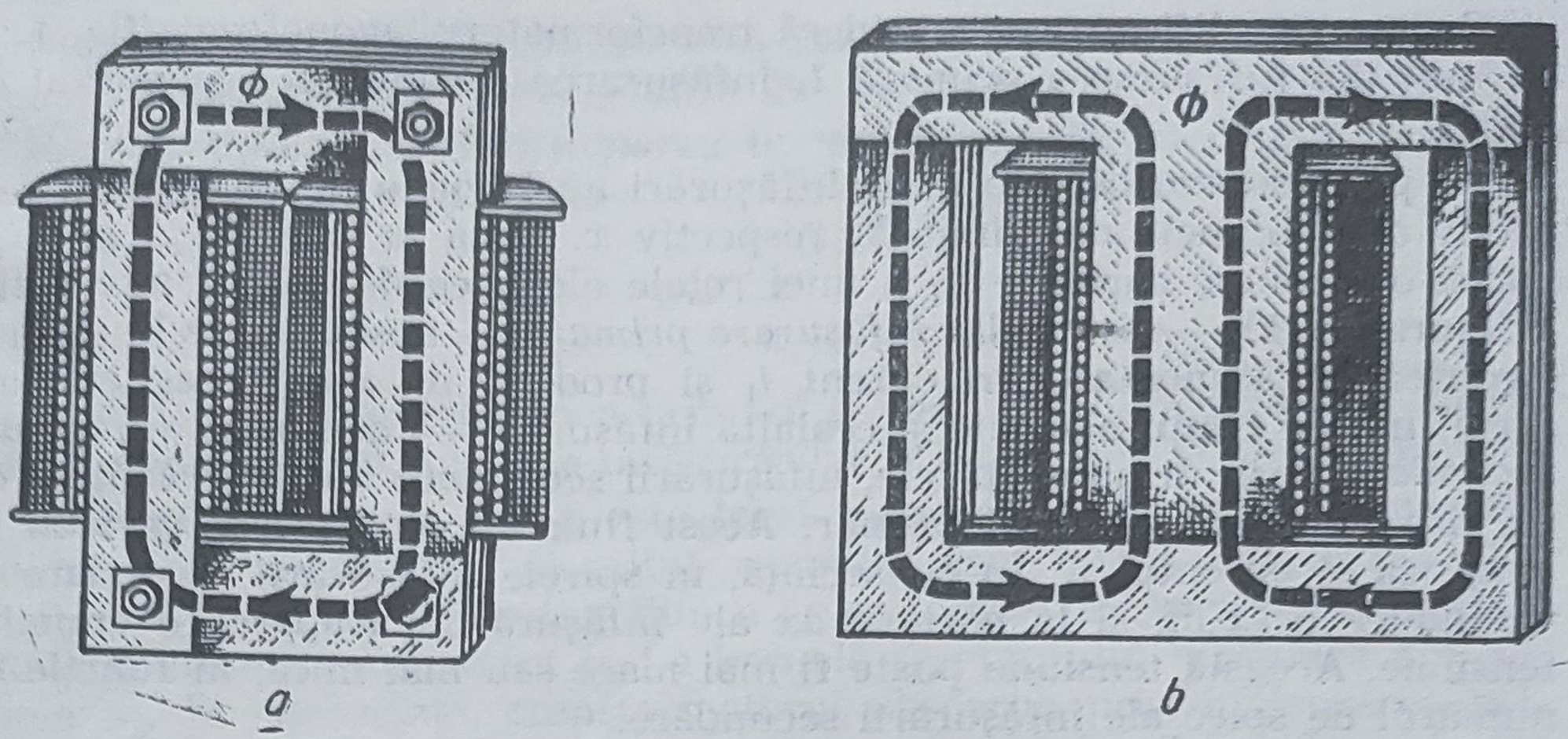


Fig. 1-2. Circuitul magnetic al unui transformator monofazat :
a — cu coloane ; b — în manta.

● **După domeniul de utilizare** se deosebesc *transformatoare de putere*, folosite pentru transportul și distribuția energiei electrice, *autotransformatoare*, folosite pentru transformarea tensiunii în limite restrînse, *transformatoare de măsurat*, ce servesc la conectarea aparatelor de măsurat normale în circuite cu curenți mari și tensiuni ridicate, *transformatoare speciale*, cum sînt cele pentru sudare, pentru cuptoare electrice, pentru alimentarea redresoarelor etc.

● **După mediul care asigură răcirea,** se deosbesc *transformatoare uscate*, la care mediul de răcire este aerul, și *transformatoare în ulei*, la care mediul de răcire este uleiul de transformator.

● **După mărimea tensiunilor primare și secundare,** transformatoarele pot fi *coborîtoare de tensiune*, dacă tensiunea secundară este mai mică decît cea primară, și *ridicătoare de tensiune*, dacă tensiunea secundară este mai mare decît cea primară.

Cele mai răspîndite transformatoare sînt transformatoarele de putere trifazate în ulei, întîlnite în rețele de transport și distribuție.

Orice transformator se construiește pentru un anumit regim nominal, caracterizat prin mărimile nominale ale parametrilor transformatorului (putere, tensiuni, curenți, frecvență).

3. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL TRANSFORMATORULUI

Funcționarea transformatorului se bazează pe principiul inducției electromagnetice dintre două sau mai multe circuite, fixe unul față de altul.

Pentru a mări cuplajul electromagnetic dintre înfășurări, acestea se așază pe un miez comun de oțel. Miezul de oțel se confecționează din tole, sub forma unui circuit magnetic închis.

Pentru simplificare, se consideră transformatorul monofozat (fig. 1-3), alcătuit din înfășurarea primară *1*, înfășurarea secundară *2* și miezul de oțel *3*.

Să presupunem că cele două înfășurări au bornele de început A, respectiv a, și bornele de sfîrșit X, respectiv x. Dacă la bornele A și X se aplică o tensiune oarecare u_1 a unei rețele electrice de curent alternativ, înfășurarea AX — denumită *înfășurare primară* — absoarbe de la rețeaua electrică de alimentare un curent i_1 și produce un cîmp magnetic ale cărui linii de cîmp înlănțuie și cealaltă înfășurare — denumită *înfășurare secundară*. Prin urmare, spirele, înfășurării secundare vor fi străbătute de un flux creat de curentul primar. Acest flux fascicular este variabil în timp, ca și curentul i_1. În consecință, în spirele înfășurării secundare se va induce o t.e.m. și la bornele ax ale înfășurării va apărea o anumită tensiune. Această tensiune poate fi mai mare sau mai mică, în funcție de numărul de spire ale înfășurării secundare.

● **Dacă la bornele bobinajului secundar** *(a, x)* **nu este legat nici un receptor** *(ceea ce este echivalent cu a așeza întreruptorul I pe poziția deschis)*, se spune că **transformatorul funcționează în gol.** În acest caz, circuitul bobinajului secundar este deschis, iar curentul prin bobinajul primar are o valoare mică și se numește *curent de mers în gol* i_0.

Curentul de mers în gol, de valoare eficace I_0 produce un flux magnetic Φ care se închide prin miezul de oțel și induce tensiuni electromotoare e_1 și respectiv e_2 în cele două înfășurări. Valorile eficace ale tensiunilor electromotoare induse E_1 și E_2 sînt proporționale cu numărul de spire w_1, respectiv w_2, cu frecvența tensiunii rețelei de alimentare f și cu fluxul :

$$E_1 = 4{,}44\ f w_1 \Phi \quad \text{și} \quad E_2 = 4{,}44\ f w_2 \Phi. \tag{1—1}$$

Raportul :

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{4{,}44\ f w_1 \Phi}{4{,}44\ f w_2 \Phi} = \frac{w_1}{w_2} \tag{1—2}$$

se numește *raport de transformare* al transformatorului.

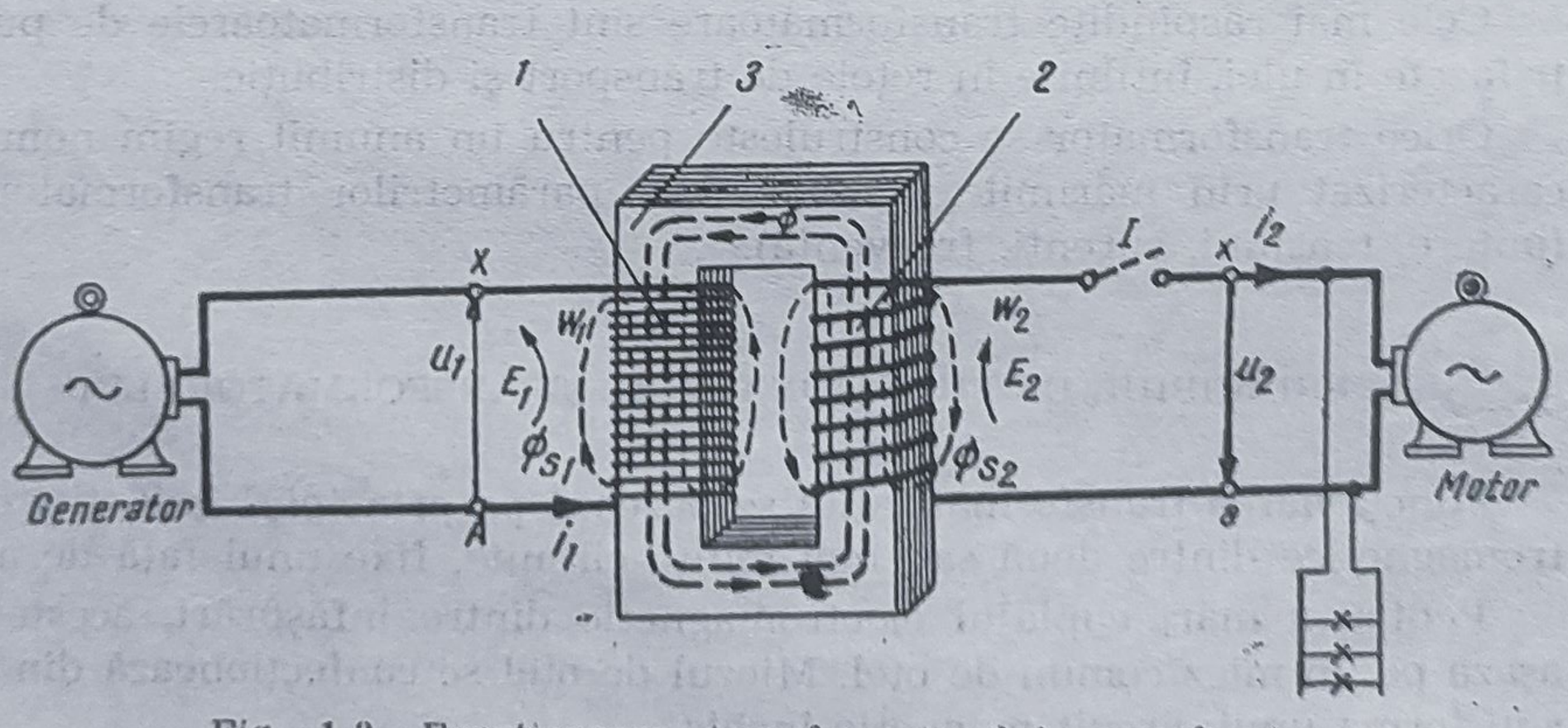


Fig. 1-3. Funcționarea transformatorului monofazat.

Neglijînd pierderile în înfășurarea primară, se poate considera $E_1 \cong U_1$ și cum înfășurarea secundară este în gol, $E_2 = U_{20}$.

Rezultă deci că *la funcționarea în gol* a transformatorului, raportul de transformare se poate scrie :

$$k = \frac{U_1}{U_{20}}, \qquad (1--3)$$

adică raportul dintre tensiunea primară și cea secundară este egal cu raportul numărului de spire ale înfășurărilor primară (w_1) și secundară (w_2).

● **Dacă la bornele** a **și** x **este legat un receptor de curent alternativ** (de exemplu un motor), circuitul secundar este închis (întreruptorul I din fig. 1—3 este închis), sub acțiunea t.e.m. induse, înfășurarea secundară este străbătută de un curent i_2. La bornele receptorului tensiunea are valoarea u_2. În consecință, transformatorul absoarbe prin înfășurarea primară, de la rețeaua de alimentare, puterea $u_1 i_1$ și cedează prin bornele înfășurării secundare puterea $u_2 i_2$. Neglijînd orice pierderi în transformator se poate scrie că $u_1 i_1 = u_2 i_2$. Așadar, *transformatorul modifică valoarea tensiunii* u_1 *a rețelei de alimentare în valoarea* u_2, *care convine receptorului conectat la bornele înfășurării sale secundare, fără să schimbe însă și valoarea puterii* (făcînd abstracție de pierderi).

Curentul alternativ i_2 produce un flux variabil în timp, Φ_2, care tinde să micșoreze fluxul inițial Φ_1. Dacă se neglijează pierderea de tensiune datorită rezistenței înfășurării primare (adică dacă $R_1 i_1 = 0$), E_1 trebuie să echilibreze tensiunea aplicată. Deci se poate considera cu suficientă aproximație că și la funcționarea în sarcină $E_1 \cong U_1$. Deoarece tensiunea U_1 aplicată de rețea este constantă, atunci E_1 este constantă. Din relația (1—1) rezultă că în acest caz și $\Phi = \text{const}$.

Pentru menținerea fluxului rezultat din compunerea fluxului primar Φ_1 produs de curentul primar i_1, cu fluxul secundar Φ_2 produs de curentul secundar i_2, la valoarea Φ corespunzătoare funcționării în gol, înfășurarea primară va absorbi de la rețea un curent i_1 mai mare decît curentul i_0. Rezultă deci, că atunci cînd prin înfășurarea secundară circulă un curent i_2, înfășurarea primară absoarbe din rețea un curent i_1 mai mare decît curentul de mers în gol i_0.

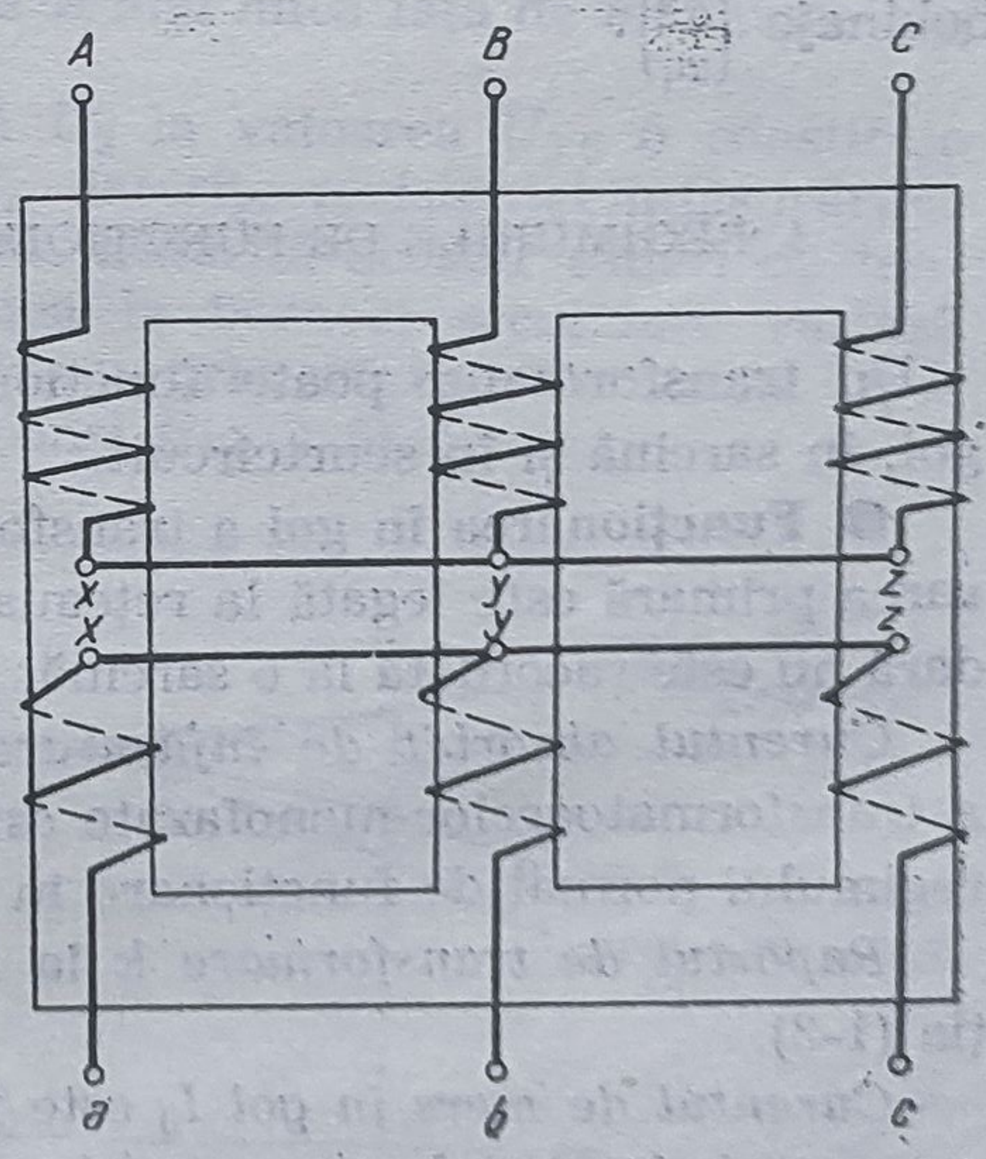


Fig. 1-4. Reprezentarea schematică a transformatorului trifazat.

● **Funcționarea transformatoarelor trifazate.** Principiul de funcționare descris mai sus pentru un transformator monofazat la care s-au ne-

glijat pierderile în miezul de oțel și înfășurări și căderile de tensiune este valabil și pentru transformatoarele trifazate. Transformatoarele trifazate (fig. 1-4) pot fi considerate ca trei transformatoare monofazate, ale căror înfășurări primare și secundare sînt plasate pe un miez comun sau pe miezuri separate. Înfășurările primare și secundare ale transformatoarelor trifazate se leagă în general în stea sau triunghi.

Atît pentru transformatoarele monofazate cît și pentru cele trifazate, din analizarea principiului de funcționare se desprind următoarele caracteristici :

— tensiunea primară U_1 este constantă, fiind o caracteristică a rețelei de alimentare și nu depinde de transformator ;

— fluxul de magnetizare care produce tensiunile electromotoare primară e_1 și secundară e_2 rămîne constant ca valoare maximă, independent de sarcină, deoarece el depinde ca mărime de tensiunea electromotoare primară E_1 și deci de tensiunea primară U_1 care s-a arătat că este constantă ;

— tensiunea electromotoare secundară E_2 depinde de valoarea tensiunii primare U_1 și de raportul între numerele de spire ale celor două bobinaje $\left(\frac{w_1}{w_2}\right)$;

— curentul secundar I_2 depinde de sarcina conectată la bornele înfășurării secundare ;

— curentul primar I_1 absorbit din rețeaua de alimentare depinde de curentul secundar I_2 și de raportul numărului de spire ale celor două bobinaje $\left(\frac{w_2}{w_1}\right)$.

P.A -

4. REGIMURILE DE FUNCȚIONARE ALE TRANSFORMATORULUI

Un transformator poate funcționa în diferite regimuri de lucru : în gol, în sarcină și în scurtcircuit.

● **Funcționarea în gol** a transformatorului are loc atunci cînd înfășurarea primară este legată la rețeaua de alimentare, iar înfășurarea secundară nu este racordată la o sarcină, deci $I_2=0$.

Curentul absorbit de înfășurarea primară I_0 la funcționarea în gol a transformatoarelor monofazate este 5—15% din curentul corespunzător regimului normal de funcționare în sarcină.

Raportul de transformare k la funcționarea în gol îndeplinește relația (1-3).

Curentul de mers în gol I_0 este format din două componente : o componentă inductivă $I_{0\mu}$ care produce fluxul Φ și o componentă activă I_{0a}, care acoperă pierderile în oțelul miezului.

Pierderile la funcționarea în gol sînt mici, ele fiind definite prin relația :

$$P_0 = P_{Fe} + P_{Cu} = P_{Fe} + R_1 I_0^2 \simeq P_{Fe}.$$

Curentul de mers în gol I_0 fiind foarte mic, pierderile în cuprul înfășurării primare se pot neglija, rezultînd că pierderile la mersul în gol al transformatoarelor sînt de fapt numai pierderile în miezul de oțel al transformatorului.

● **La funcționarea în sarcină** (fig. 1—3) (întreruptorul *I* închis), înfășurarea secundară este închisă pe o impedanță oarecare.

Față de funcționarea în gol, la funcționarea în sarcină se produc următoarele schimbări :

— în înfășurarea secundară va circula un curent i_2 și datorită pierderilor din această înfășurare, tensiunea secundară u_2 va fi diferită de tensiunea electromotoare e_2 ;

— în înfășurarea primară va circula un astfel de curent i_1, încît să fie respectată relația :

$$w_1 i_1 + w_2 i_2 = w_1 i_0.$$

După cum se vede în figura 1-3, la funcționarea în sarcină o parte din fluxul produs de înfășurări se închide prin aer. Acest flux, notat pe figura cu Φ_{s1} și Φ_{s2}, se numește *flux de scăpări*, și nu contribuie la obținerea fluxului total Φ, numit și *flux util*. Deoarece fluxul util este astfel mai mic decît la funcționarea în gol, la funcționarea în sarcină tensiunea U_2 la bornele secundarului va fi mai mică față de tensiunea U_{20} de la funcționarea în gol.

O altă cauză a micșorării tensiunii U_2 la valoarea U_{20} o constituie căderile de tensiune activă $R_1 I_1$ și $R_2 I_2$, datorite rezistenței înfășurărilor parcurse de curentul primar și secundar. Datorită acestor căderi de tensiune în cele două înfășurări, tensiunea la bornele secundare variază cu sarcina transformatorului dacă tensiunea primară este constantă $U_1 =$ = const și factorul de putere cos φ_2 = const (fig. 1-5).

Din cauza variației tensiunii U_2 de la funcționarea în gol la funcționarea în sarcină, raportul de transformare k definit prin relația (1-2) nu mai îndeplinește relația (1-3).

Se numește *variație de tensiune (cădere de tensiune)* a transformatorului (ΔU_n pentru un factor de putere dat, diferența artimetică între tensiunea secundară nominală la funcționarea în gol (U_{20}) și tensiunea secundară corespunzătoare curentului se-

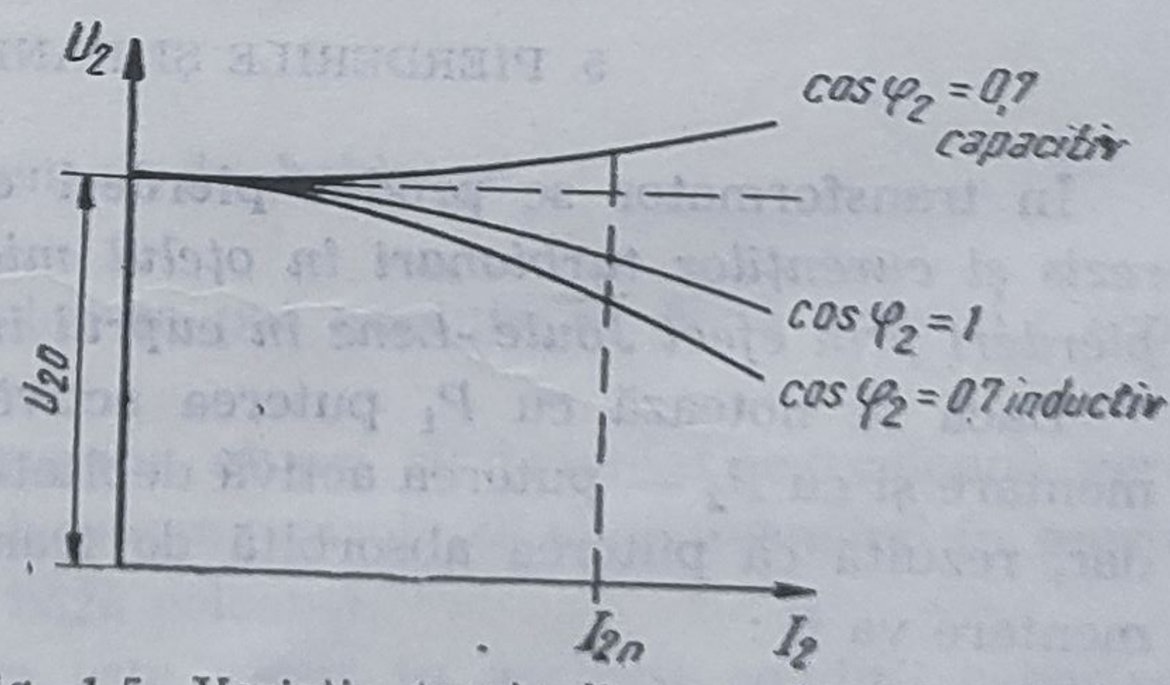


Fig. 1-5. Variația tensiunii secundare în funcție de sarcină.

cundar nominal, cînd primarul este alimentat la tensiunea nominală. Căderea de tensiune se exprimă în procente din tensiunea secundară de mers în gol, adică :

$$\Delta U_n = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \cdot 100 \ [\%].$$

● **La funcţionarea în scurtcircuit,** înfăşurarea secundară este legată în scurtcircuit, adică cele două borne sînt legate printr-un conductor de rezistenţă practic nulă. În acest caz se poate spune că *tensiunea secundară U_2 este egală cu zero.*

Pentru studiul funcţionării transformatorului în scurtcircuit, înfăşurarea primară a transformatorului nu se alimentează cu tensiunea nominală, ci cu o tensiune redusă U_k, astfel ca în înfăşurările primară şi secundară să circule curenţii nominali.

Tensiunea de scurtcircuit nominală, exprimată în procente din tensiunea nominală U_n a transformatorului, se defineşte prin relaţia :

$$u_k = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100 \ [\%].$$

Tensiunea procentuală de scurtcircuit este un parametru important în funcţionarea transformatorului. Ea este cuprinsă între 3 şi 6% pentru transformatoarele normale pînă la 1 000 kVA şi între 6 şi 15% pentru puteri mai mari.

La funcţionarea în scurtcircuit înfăşurarea primară fiind alimentată cu o tensiune redusă, fluxul în miezul transformatorului este foarte mic şi deci pierderile în fier se pot neglija. În acest fel, pierderile la funcţionarea în scurtcircuit se pot considera a fi pierderi prin efect Joule-Lenz în cuprul înfăşurărilor primară şi secundară :

$$P_{sc} = P_{Cu} = P_{Cu1} + P_{Cu2} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2.$$

5. PIERDERILE ŞI RANDAMENTUL

În transformator se produc **pierderi** *datorite fenomenului de histerezis şi curenţilor turbionari în oţelul miezului* şi alte piese, precum şi *pierderi prin efect Joule -Lenz în cuprul înfăşurărilor.*

Dacă se notează cu P_1 puterea activă absorbită din reţeua de alimentare şi cu P_2 — puterea activă debitată în reţeaua racordată la secundar, rezultă că puterea absorbită de transformator din reţeaua de alimentare va fi :

$$P_1 = P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}.$$

Randamentul transformatorului este *raportul între puterea furnizată de secundar* P_2 *și puterea absorbită de primar* P_1 (exprimate în aceleași unități de măsură), adică :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}}.$$

S-a arătat în paragraful precedent că $P_0 = P_{Fe}$ și $P_{sc} = P_{Cu}$ deci randamentul exprimat în procente va fi :

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} \cdot 100 = \frac{P_2}{P_2 + P_{sc} + P_0} \cdot 100 \ [\%].$$

Cele arătate privitoare la randament se referă la cazul cînd transformatorul lucrează la sarcina nominală.

În figura 1-6, *a* se arată în mod sugestiv diagrama energetică a unui transformator, ilustrîndu-se astfel pierderile și randamentul unui transformator. În figura 1-6, *b* sînt reprezentate curbele de variație a randamentului și a pierderilor în cuprul (P_0) și fierul (P_{sc}) transformatorului, în funcție de coeficientul de încărcare, adică în funcție de sarcină. Din figură se vede că η are un maxim pentru $K_i = 0{,}5 \ldots 0{,}7$. Deoarece transformatorul nu are organe în mișcare, pierderile sînt reduse, iar η poate atinge pentru transformatoare de puteri mari, valori de 98—99%.

6. GRUPELE DE CONEXIUNI ALE TRANSFORMATOARELOR

Legăturile între cele trei faze ale transformatoarelor trifazate se pot face în diferite feluri. *Modul de legare al bobinajelor* (primare și secundare) poartă denumirea de **conexiunea transformatorului.**

a. Sensul de bobinare

Bobinajele transformatoarelor se pot executa în două sensuri : sens dreapta și sens stînga.

● Un bobinaj are **sens dreapta,** atunci cînd montat pe o coloană verticală a miezului și privit de deasupra, spirala se vede avansînd în sensul burghiului spre capătul de la baza coloanei.

● Un bobinaj **sens stînga** este văzut în aceleași condiții coborînd prin rotire în sensul deșurubării.

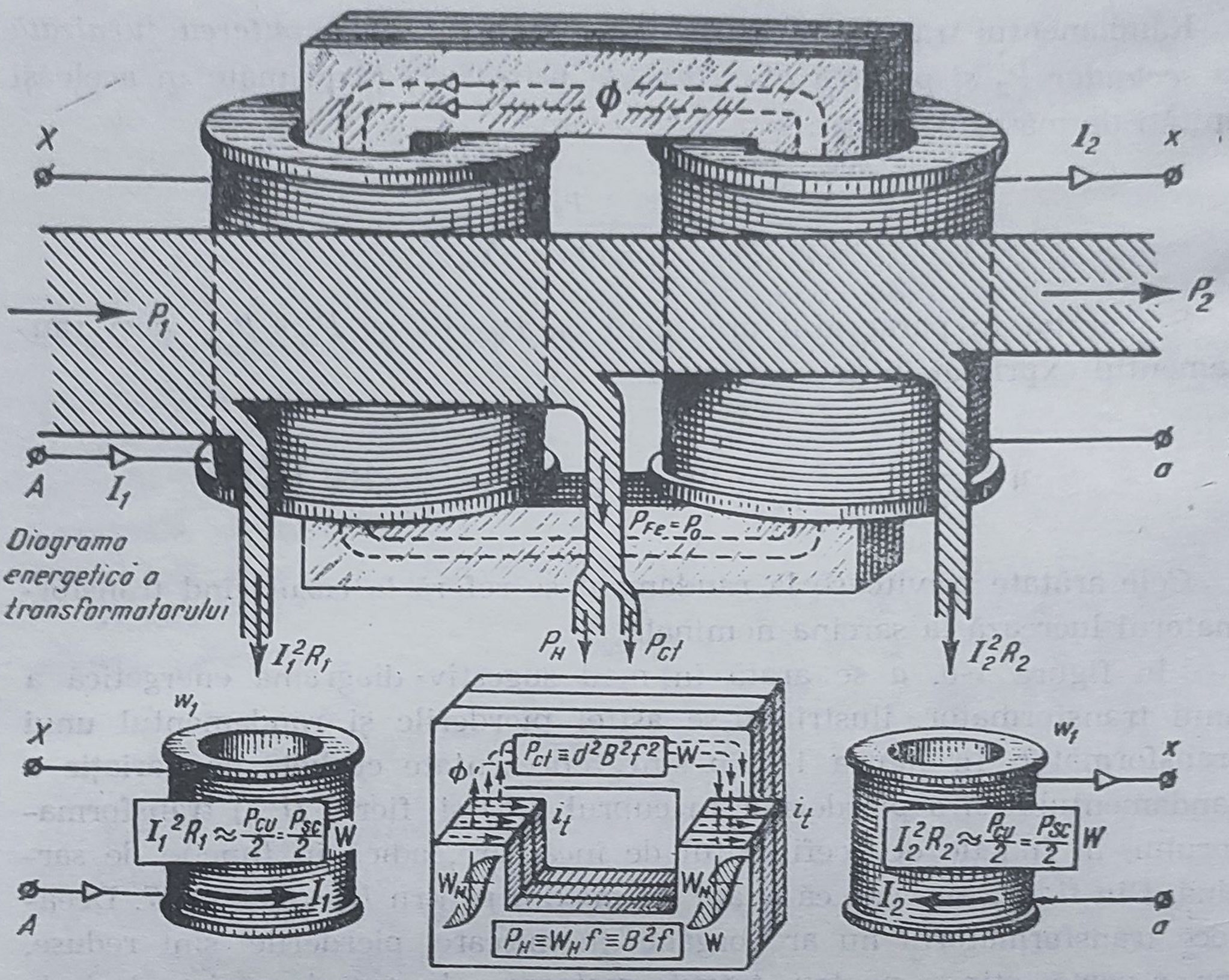
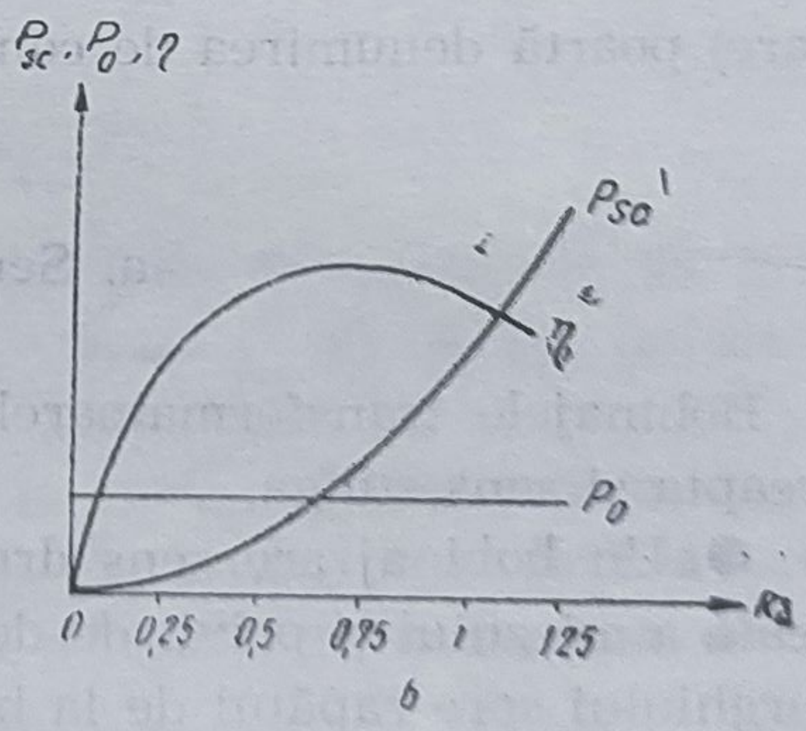


Diagrama energetică a transformatorului

Pierderile în cuprul înfășurării primare — *Pierderile în oțel prin histerezis cu curenți turbionari* — *Pierderile în cuprul înfășurării secundare*

a



b

Fig. 1-6. Transformatorul :
a — diagrama energetică ; *b* — variația randamentului în funcție de încărcare

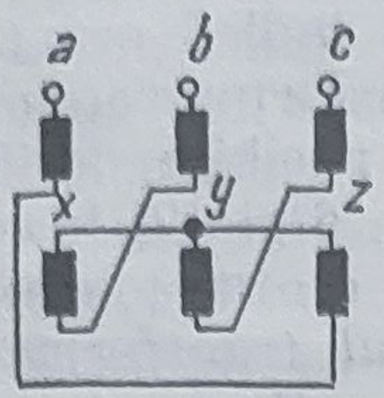


Fig. 1-7. Conexiunea transformatoarelor trifazate în zig-zag.

b. Conexiuni de bază

Conexiunile bobinajelor de înaltă și joasă tensiune ale transformatoarelor trifazate se pot face *în stea* sau *în triunghi*. Se mai utilizează pentru partea de joasă tensiune și conexiunea în *zig-zag*.

● **În cazul legării în zig-zag,** fiecare fază se împarte în două jumătăți, care se așază pe coloane diferite și se leagă așa cum se arată în figura 1-7.

c. Grupe de conexiuni

Deoarece atît bobinajul primar cît și cel secundar pot avea diferite conexiuni, și deoarece unei conexiuni în primar îi pot corespunde altfel de conexiuni în secundar, rezultă mai multe combinații posibile.

Conexiunile uzuale sînt următoarele : *stea-stea, stea-triunghi, stea-zig-zag, triunghi-stea, triunghi-triunghi* și *triunghi-zig-zag*.

Dar, deoarece unul dintre bobinaje, de exemplu cel secundar, poate fi bobinat în sens invers față de celălalt, rezultă pentru fiecare dintre conexiunile de mai sus două posibilități (deci în total, 12 moduri de conexiuni uzuale).

Aceste 12 moduri de conexiuni sînt clasate în *patru grupe*. Grupele *se deosebesc între ele prin unghiul de decalaj între tensiunea primară compusă* (între faze) și *tensiunea secundară compusă* (între faze).

● **Grupa de conexiuni 12 (monofazată).** Să revenim la transformatorul monofazat (fig. 1-8), și să presupunem că înfășurările lui au același sens de înfășurare (de exemplu, sensul acelor ceasornicului, dacă privim de la capătul superior al înfășurării spre capătul inferior). În acest caz, tensiunile la borne U_{AX}, respectiv U_{ax}, se reprezintă practic prin fazori suprapuși (dacă neglijăm micile căderi de tensiune datorite fluxului de dispersie și rezistențelor înfășurărilor). Un asemenea transformator face parte din grupa de conexiuni notată cu *12*. Acest număr indică faptul că între cele două tensiuni, U_{AX} și U_{ax}, există practic același unghi de defazaj ca și între acele unui ceasornic, cînd acesta arată ora 12.

● **Grupa de conexiuni 6 (monofazată).** Dacă același transformator ar avea, de exemplu, înfășurarea de joasă tensiune bobinată în sens invers sau cu bornele notate invers față de situația precedentă, între fazorii celor două tensiuni omoloage U_{AX} și U_{ax} ar exista un defazaj de 180°. Un asemenea transformator aparține grupei de conexiuni notate cu 6. Acest număr arată că defazajul dintre tensiunile omoloage este același ca și între acele unui

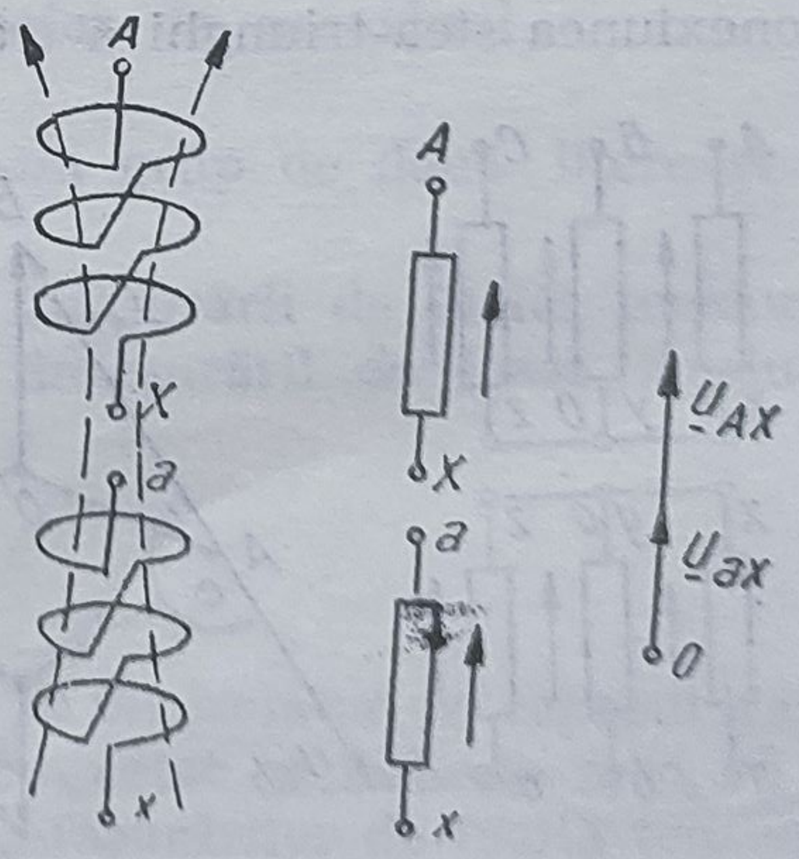


Fig. 1-8. Grupa de conexiuni *12* (monofazată).

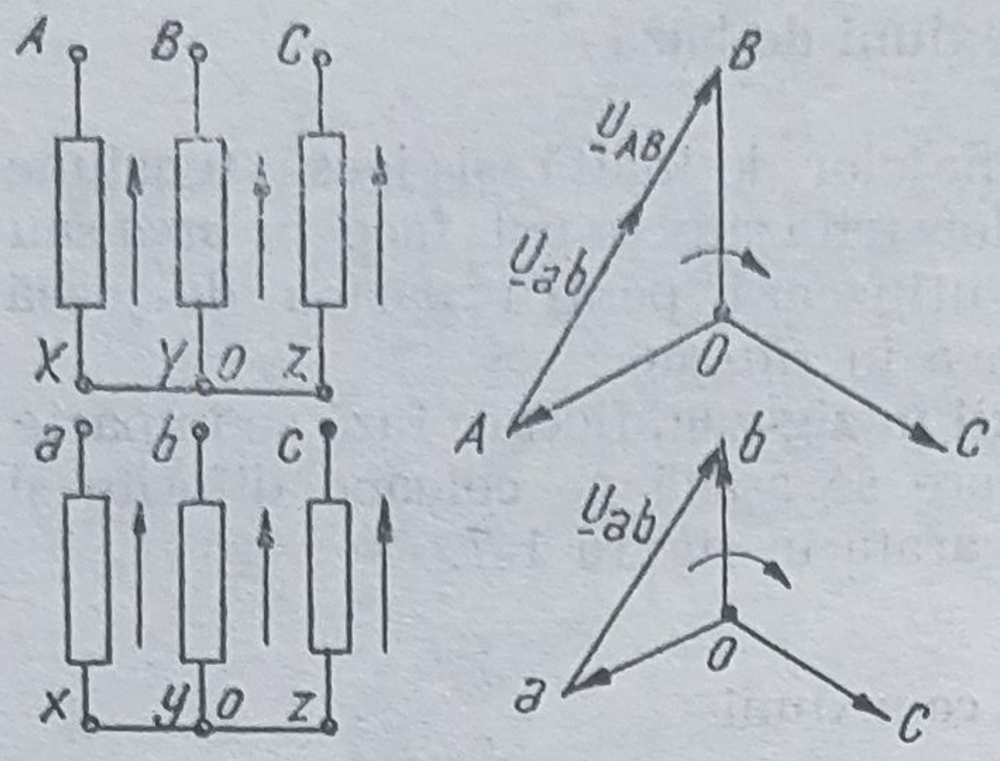


Fig. 1-9. Conexiunea Yy-12.

ceasornic, cînd acesta indică ora 6.

Dacă în cazul transformatoarelor monofazate nu sînt posibile decît două variante (grupele 6 şi 12) în ce priveşte dezavantajele dintre tensiunile omoloage, în *cazul transformatoarelor trifazate* lucrurile se complică.

● **Conexiunea Yy—12.** Să analizăm mai întîi cazul unui transformator trifazat cu conexiunea *Yy* (fig. 1-9). Presupunînd că înfăşurările au acelaşi sens de înfăşurare şi avînd în vedere proprietatea că fiecare fază funcţionează independent de celelalte, întocmai ca un transformator monofazat, se pot construi diagramele tensiunilor primare şi secundare (v. fig. 1-9). Fie *OABC* steaua tensiunilor primare pe fază, sensul de succesiune a fazelor fiind cel al acelor ceasornicului. Tensiunea U_{ax} a fazei secundare *ax* este în fază cu tensiunea U_{AX} a fazei primare *AX*, cu care interacţionează ca şi cum ar forma un transformator monofazat independent de celelalte faze. În mod analog, fazorul U_{by} este în fază cu fazorul primar analog U_{BY}, iar fazorul U_{cz} — în fază cu fazorul U_{CZ}. În acest fel rezultă steaua *oabc* a tensiunilor secundare ; între fazele omoloage (U_{AB} şi U_{ab}) defazajul este nul. Acest lucru poate fi pus în evidenţă deplasînd prin translaţie steaua tensiunilor secundare pînă cînd punctul *a* coincide cu punctul *A*. Prin urmare, transformatorul *Yy* considerat aparţine grupei *12*. Un asemenea transformator se notează *Yy-12*.

● **Conexiunea Yy-6.** Dacă la transformatorul Yy-12 se schimbă între ele începuturile şi sfîrşiturile fazelor de joasă tensiune, se obţine un transformator *Yy-6*, ale cărui diagrame fazoriale sînt date în figura 1-10.

● **Conexiunea Yd-11.** Să studiem, din acelaşi punct de vedere, şi conexiunea stea-triunghi a transformatorului din figura 1-11. În această

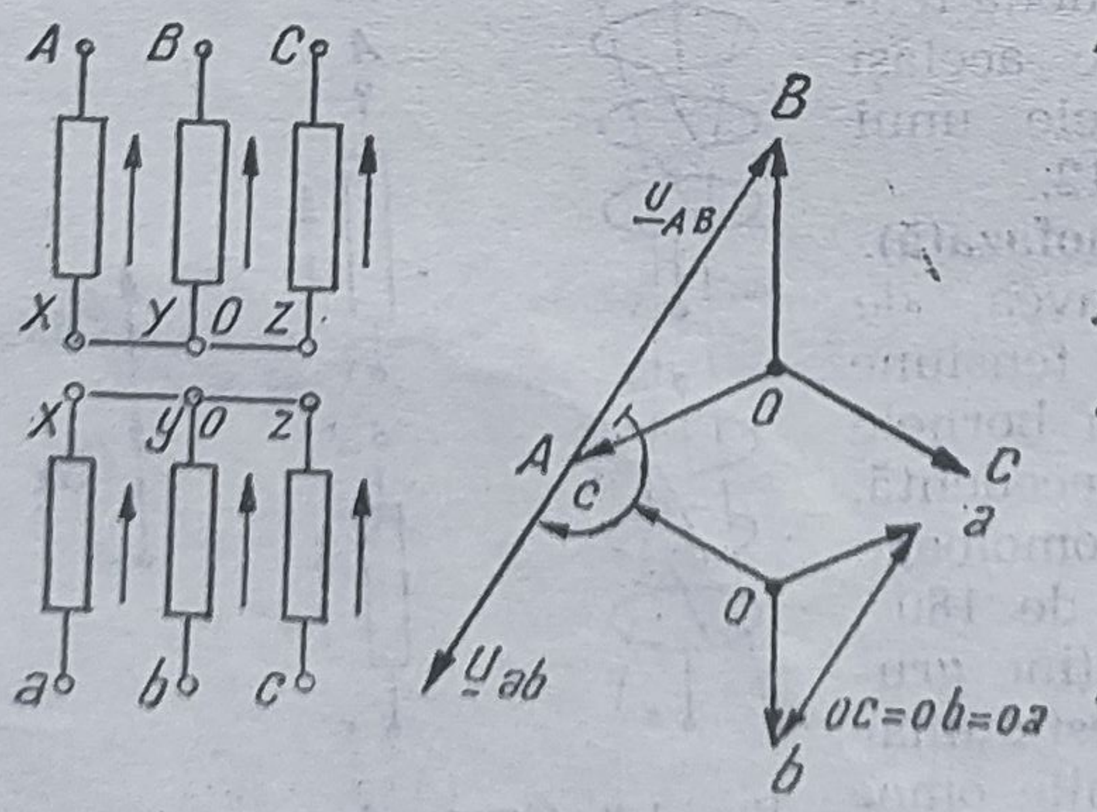


Fig. 1-10. Conexiunea Yy-6.

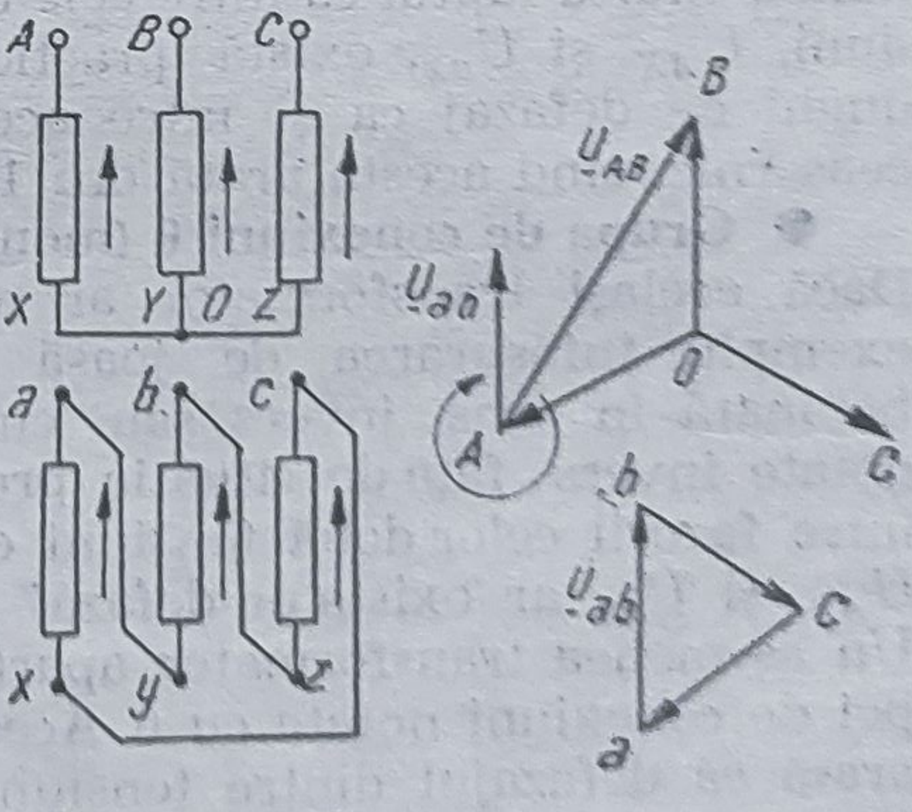


Fig. 1-11. Conexiunea Yd-11.

figură s-a reprezentat steaua $OABC$ a tensiunilor primare pe fază. Pentru a deduce poziţia fazorilor tensiunilor secundare pe fază, se va raţiona la fel ca mai sus. Pe fiecare coloană, înfăşurările primară şi secundară funcţionează ca şi în cazul unui transformator monofazat. Prin urmare, dacă înfăşurările au acelaşi sens de bobinare, tensiunea U_{ax} este în fază cu tensiunea U_{AX}. Dar $U_{ax}=U_{ac}$, deci tensiunea U_{ac} este în fază cu U_{AX}. În mod analog, U_{ba} este în fază cu U_{BY} şi U_{cb} cu U_{CZ}.

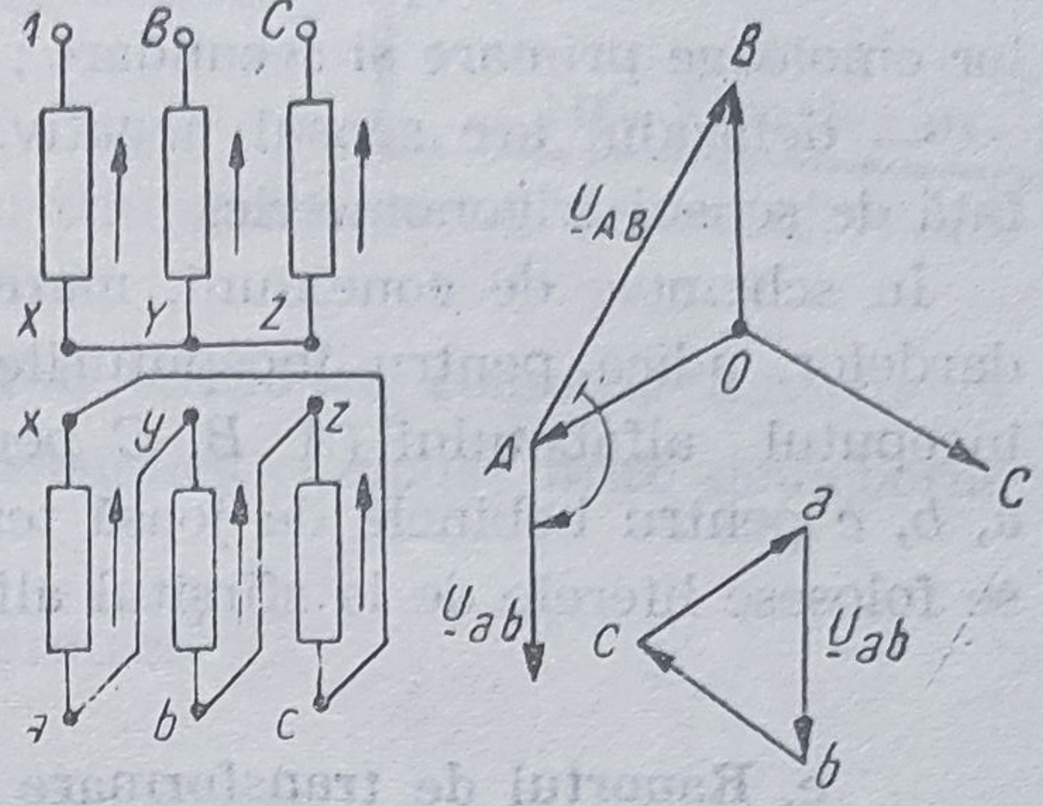


Fig. 1-12. Conexiunea Yd-5.

Pentru a stabili acum defazajul dintre două tensiuni între faze omoloage, de exemplu U_{AB} şi U_{ab}, se va da triunghiului abc o mişcare de translaţie, pînă cînd vîrful a va coincide cu punctul A (v. fig. 1-11). Se remarcă imediat că unghiul dintre tensiunile U_{AB} şi U_{ab}, considerat în sensul succesiunii fazelor, este de 330°, adică este egal cu unghiul dintre acele unui ceasornic cînd acesta indică ora 11. Prin urmare, transformatorul studiat are conexiunea *Yd-11*.

● **Conexiunea Yd—5**. Dacă la transformatorul considerat mai sus se schimbă între ele începuturile şi sfîrşiturile înfăşurărilor fazelor de joasă tensiune, se realizează un transformator *Yd-5* (fig. 1-12).

Desigur că prin schemele studiate mai sus nu au fost epuizate toate conexiunile posibile ale transformatoarelor trifazate. Astfel, se pot imagina conexiuni *Yy-12*, *Yy-4*, *Yd-1* *Yd-3* etc., obţinute prin permutări ale bornelor. În practică, cele mai utilizate conexiuni sînt specificate în standarde.

d. Notarea simbolică a grupelor de conexiuni

Conexiunile sînt reprezentate printr-un grup de două litere şi un număr, avînd următoarea semnificaţie :

— litera mare reprezintă conexiunea înfăşurării de înaltă tensiune ;

— litera mică reprezintă conexiunea înfăşurării de joasă tensiune, cu următoarele semnificaţii :

Y şi y conexiunea stea,

D şi d conexiunea triunghi,

Z şi z conexiunea zig-zag.

În cazul cînd punctul neutru este scos la un izolator pe capacul transformatorului, simbolul conexiunii va fi completat cu indicele zero, ca de exemplu Y_0 pentru conexiunea în stea a înfăşurărilor de înaltă tensiune;

— numărul multiplicat cu 30° indică defazajul între tensiunile fazelor omoloage primare și secundare ;

— defazajul are sensul negativ, adică este îndreptat în sens invers față de sensul trigonometric.

În schemele de conexiuni, marcarea bornelor se face conform standardelor, adică pentru începuturile bobinelor se folosesc literele de la începutul alfabetului (*A*, *B*, *C* pentru bobinele de înaltă tensiune și *a*, *b*, *c* pentru bobinele de joasă tensiune), iar pentru sfîrșitul bobinelor se folosesc literele de la sfîrșitul alfabetului (*X*, *Y*, *Z* și respectiv *x*, *y*, *z*).

e. Raportul de transformare al transformatoarelor trifazate, pentru diferite grupe de conexiuni

Raportul de transformare al transformatoarelor trifazate este raportul dintre tensiunile electromotoare compuse (între faze), de la bornele bobinajului primar și de la bornele bobinajului secundar.

La transformatoarele trifazate, spre deosebire de cele monofazate, *raportul de transformare* nu mai este totdeauna egal și cu raportul numărului de spire $\frac{w_1}{w_2}$, ci *depinde de grupa de conexiuni* a transformatorului respectiv.

Pentru lămurirea acestei probleme, se vor calcula în cele ce urmează rapoartele de transformare pentru grupele de conexiuni mai des folosite.

● **În cazul unei conexiuni stea-stea,** tensiunea compusă este de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît tensiunea pe fază, adică :

$$U_{AB}=\sqrt{3}\,U_A$$

și

$$U_{ab}=\sqrt{3}\,U_a.$$

Rezultă că raportul de transformare în cazul conexiunii stea-stea este :

$$k=\frac{U_{AB}}{U_{ab0}}=\frac{\sqrt{3}U_A}{\sqrt{3}U_a}=\frac{U_A}{U_a}=\frac{E_A}{E_a}=\frac{w_1}{w_2}.$$

Deci, în cazul conexiunii stea-stea, *raportul de transformare este egal cu raportul între numărul de spire.*

● **In cazul conexiunii triunghi-triunghi,** tensiunea între fazele de alimentare U_{AB} este egală cu tensiunea pe fază U_A; la fel, $U_{ab}=U_a$. Raportul de transformare rezultă :

R. S. R.
MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNT.
ȘCOALA PROF. de CONSTRUCȚII
IAȘI
Str. Sărăriei nr. 189

$$k=\frac{U_{AB}}{U_{ab0}}=\frac{U_A}{U_a}=\frac{E_A}{E_a}=\frac{w_1}{w_2}.$$

Deci și în cazul conexiunii triunghi-triunghi *raportul de transformare este egal cu raportul numărului de spire.*

● **În cazul conexiunii stea-triunghi,** tensiunea compusă între două borne primare este $U_{AB}=\sqrt{3}U_A$, iar tensiunea compusă între două borne secundare este $U_{ab}=U_a$.

În acest caz, raportul de transformare este :

$$k=\frac{U_{AB}}{U_{ab0}}=\frac{\sqrt{3}U_A}{U_a}=\sqrt{3}\,\frac{E_A}{E_a}=\sqrt{3}\,\frac{w_1}{w_2}.$$

La conexiunea stea-triunghi, raportul de transformare este deci de $\sqrt{3}$ ori mai mare decît raportul între numărul de spire.

● **În cazul conexiunii triunghi-stea,** $U_{AB}=U_A$, iar $U_{ab}=\sqrt{3}\,U_a$ și deci :

$$k=\frac{U_{AB}}{U_{ab0}}=\frac{U_A}{\sqrt{3}\,U_{a0}}=\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{E_A}{E_a}=\frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{w_1}{w_2},$$

adică, la conexiunea triunghi-stea, *raportul de transformare este de 1,73 ori mai mic decît raportul numărului de spire.*

Din cele arătate mai sus, rezultă că la un transformator trifazat, cînd se schimbă conexiunea unei înfășurări fără a se modifica numărul de spire, raportul de transformare se schimbă.

7. FUNCȚIONAREA ÎN PARALEL A TRANSFORMATOARELOR

Două sau mai multe transformatoare funcționează în paralel, atunci cînd sînt alimentate de la aceeași rețea și debitează pe o aceeași rețea secundară. *Scopul conectării în paralel a două sau mai multe transformatoare este acela de a alimenta cu transformatoare de putere mai mică un receptor de putere mai mare.* Funcționarea în paralel are loc în condiții optime, atunci cînd sarcina se repartizează între aceste transformatoare proporțional cu puterile lor nominale (fig. 1-13) și cînd curenții secundari ai acestor transformatoare trebuie să fie în fază, adică se pot aduna aritmetic.

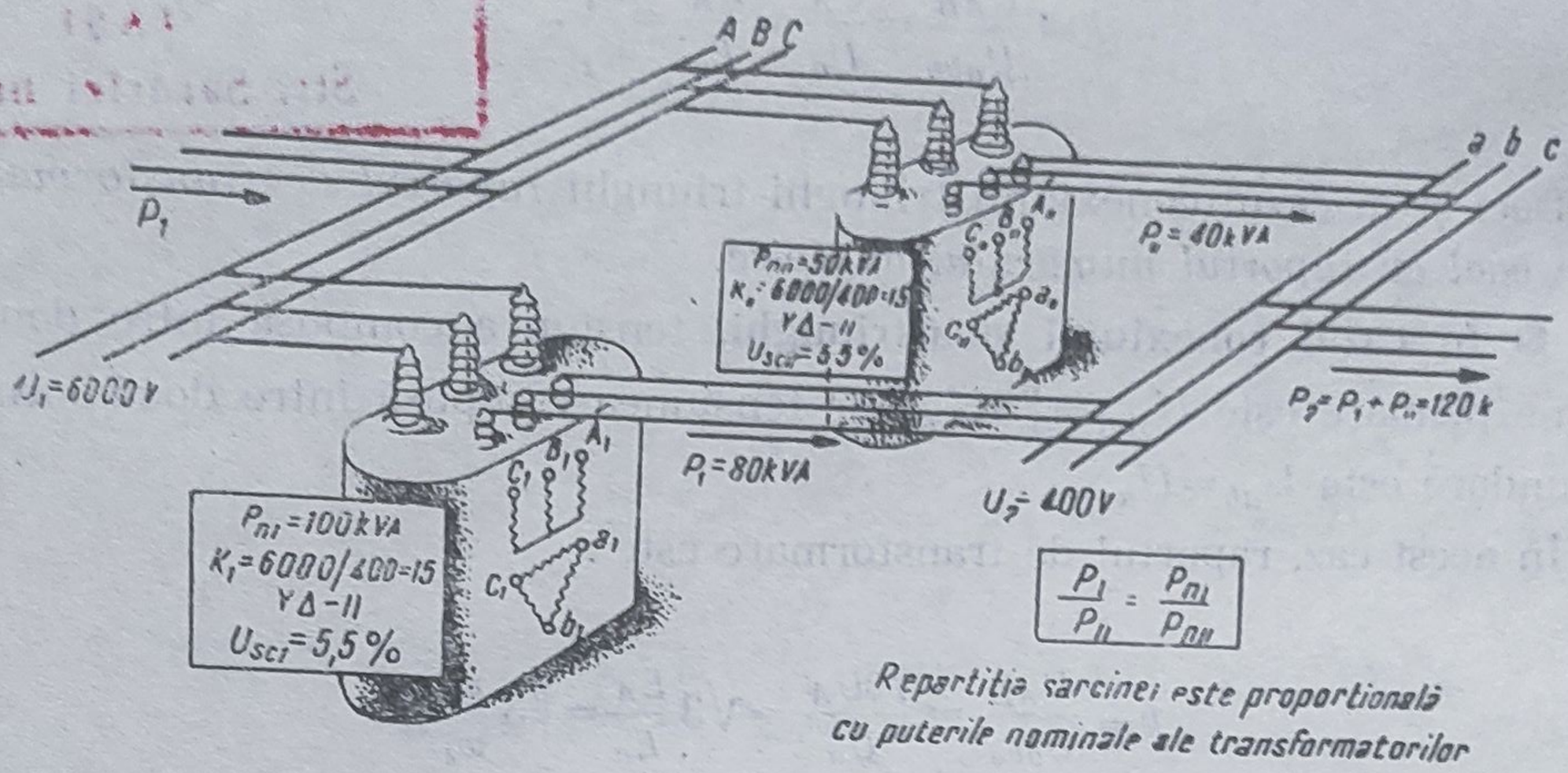


Fig. 1-13. Funcționarea în paralel a transformatoarelor.

a. Funcționarea în paralel a transformatoarelor monofazate

Legarea în paralel a transformatoarelor monofazate nu se poate face oricum ; pentru asigurarea bunei funcționări trebuie respectate următoarele condiții :

— tensiunile nominale, primare și secundare, ale tuturor transformatoarelor, trebuie să fie egale, condiție care implică de la sine și egalitatea rapoartelor de transformare ;

— legăturile să fie făcute între bornele echivalente ;

— căderile interioare de tensiune în sarcină nominală să nu difere cu mai mult de 10% ;

— puterile nominale ale transformatoarelor legate în paralel să nu difere cu mai mult de 30%.

Deoarece toate cele patru condiții arătate mai sus sînt deosebit de importante, în cele ce urmează li se explică necesitatea.

● **Prima condiție** este evidentă, deoarece transformatoarele ce lucrează în paralel au înfășurările primare alimentate de la aceeași rețea și deci trebuie să aibă aceeași tensiune nominală primară. Înfășurările secundare pot fi legate de asemenea la o rețea comună, deci și tensiunea nominală secundară trebuie să fie aceeași, ceea ce impune de la sine egalitatea rapoartelor de transformare. În cazul cînd această condiție nu este îndeplinită, se produc curenți de circulație între transformatoare.

Presupunînd că *lucrează în paralel două transformatoare de putere egală, dar cu rapoarte de transformare diferite* (spre exemplu $k_1 < k_2$), se constată că puterea maximă, care poate fi furnizată de grupul celor două transformatoare este determinată de valoarea maximă admisibilă a lui I_1. Curentul I_2 al celuilalt transformator va fi mai mic decît valoarea lui nominală, adică transformatorul nu este utilizat la puterea sa maximă.

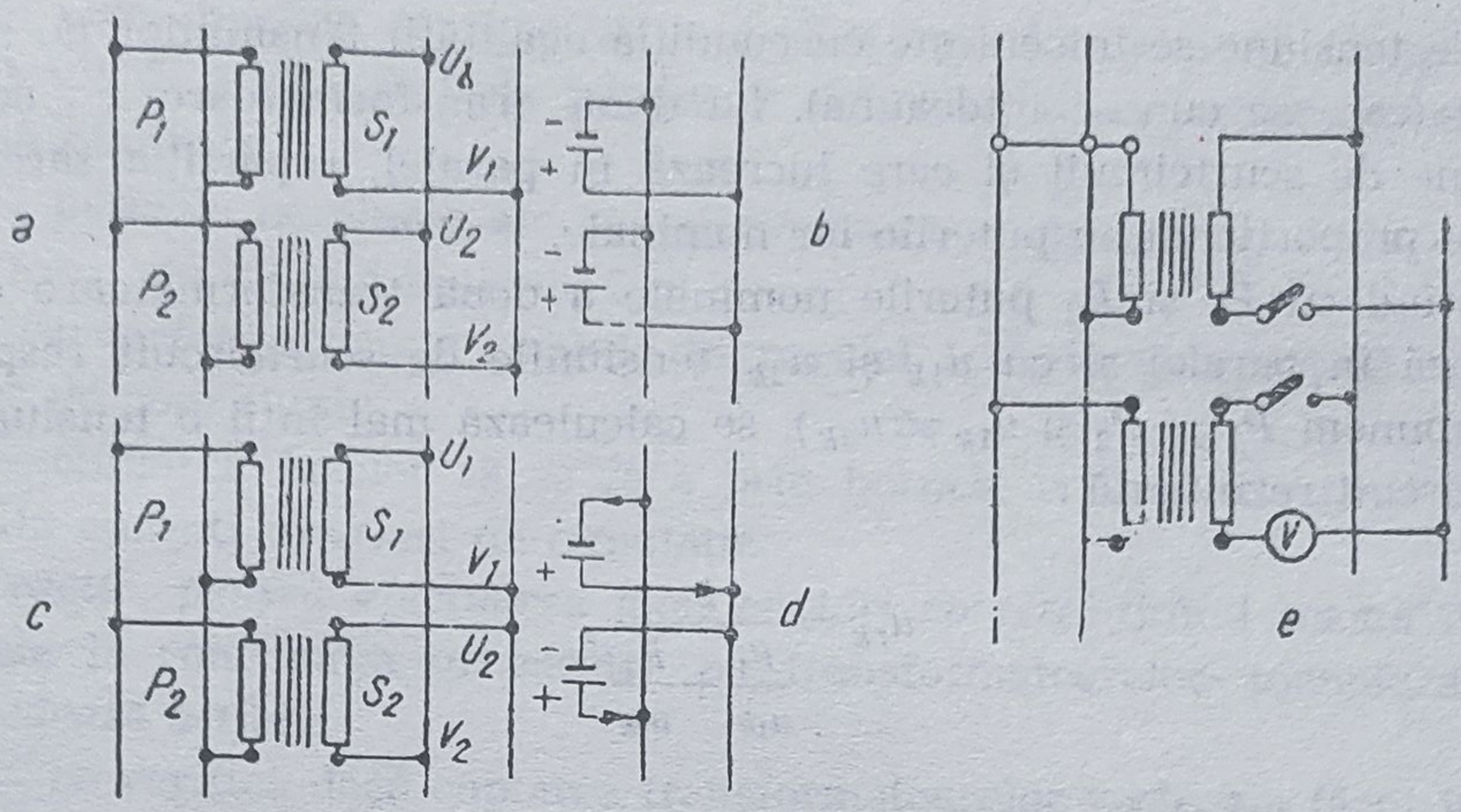


Fig. 1-14. Legarea în paralel a transformatoarelor monofazate :
a, *b* — conectare corectă ; *c*, *d* — conectare greșită ; *e* — stabilirea bornelor echivalente pentru funcționarea în paralel a două transformatoare monofazate.

● **Cea de-a doua condiție** arată că, dacă înfășurările secundare se leagă ca în figura 1-14, *a*, transformatoarele debitează în paralel. Între punctele V_1 și V_2 sau între U_1 și U_2 nu există tensiune. În cazul cînd legăturile se execută ca în figura 1-14, *c*, cele două înfășurări secundare sînt ca și legate în serie pe circuitul închis $U_1—S_1—V_1—U_2—S_2—V_2—U_1$, ceea ce este echivalent cu un scurtcircuit.

Pentru ușurința înțelegerii fenomenelor, în figurile 1-14, *b* și 1-14, *d* se arată comparativ situațiile echivalente ale unor pile galvanice legate în paralel.

Deoarece *în practică* nu se poate ști care sînt bornele echivalente (nu se poate urmări sensul de înfășurare), *se procedează în felul următor :* se leagă, mai întîi, bornele primare ale transformatoarelor la rețeaua de alimentare și apoi bornele secundare ale unuia dintre transformatoare, la rețeaua pe care debitează. La al doilea transformator se leagă una din borne direct la rețea, iar cealaltă bornă se leagă în serie cu un voltmetru (sau o lampă) care să poată suporta o tensiune dublă față de tensiunea rețelei (fig. 1-14, *e*). În cazul cînd voltmetrul nu indică (sau lampa nu luminează) a doua bornă este legată corect. Dacă voltmetrul arată o tensiune dublă față de tensiunea rețelei (sau lampa nu luminează), legăturile celui de al doilea transformator nu sînt bine făcute și trebuie inversate între ele.

● **Condiția a treia** se pune pentru ca transformatoarele să poată fi încărcate la puterea lor maximă.

Deoarece căderea procentuală de tensiune pentru un transformator trebuie dedusă uneori prin măsurări și calcule, condiția egalității căde-

rilor de tensiune se înlocuieşte cu condiţia egalităţii tensiunilor de scurt-circuit (care se cunosc totdeauna). La două transformatoare cu aceeaşi tensiune de scurtcircuit şi care lucrează în paralel, repartiţia sarcinilor se face proporţional cu puterile lor nominale.

Notînd cu P_1 şi P_2 puterile nominale a două transformatoare ce se cuplează în paralel şi cu u_{1k} şi u_{2k} tensiunile de scurtcircuit respectiv (presupunem $P_1 \neq P_2$ şi $u_{1k} \neq u_{2k}$), se calculează mai întîi o tensiune de scurtcircuit rezultantă :

$$u_{rk} = \frac{P}{\frac{P_1}{u_{1k}} + \frac{P_2}{u_{2k}}},$$

unde :

$$P = P_1 + P_2.$$

Puterea cu care se încarcă primul transformator va fi :

$$P'_1 = \frac{P_1 \cdot u_{r_k}}{u_{1k}},$$

iar cel de al doilea se va încărca cu puterea :

$$P'_2 = \frac{P_2 \cdot u_{r_k}}{u_{2k}}.$$

● **Cea de a patra condiţie,** referitoare la raportul maxim ce poate exista între puterile nominale ale transformatoarelor care se cuplează în paralel, rezultă tocmai din cauza dificultăţilor — arătate mai sus — care apar în cazul cuplării în paralel a transformatoarelor de puteri mult diferite.

b. Funcţionarea în paralel a transformatoarelor trifazate

Întrucît la transformatoarele trifazate apar elemente noi (conexiunile), numărul de condiţii de conectare în paralel sporeşte.

Pentru a pune un transformator oarecare în paralel cu unul sau mai multe transformatoare legate deja în paralel, trebuie îndeplinite următoarele condiţii :

— tensiunile primare şi secundare, deci şi raporturile de transformare, trebuie să fie identice (în limita toleranţelor admise de standarde) ;

— tensiunea de scurtcircuit a noului transformator să nu difere cu mai mult de ± 10% față de tensiunea de scurtcircuit (medie) a celorlalte transformatoare ;

— puterile nominale ale transformatoarelor cuplate nu trebuie să difere între ele cu mai mult de 3 : 1 ;

— transformatoarele cuplate în paralel trebuie să aparțină aceleiași grupe de conexiuni ;

— cuplarea fazelor să se facă prin bornele echivalente pentru a nu rezulta curenți interiori de circulație.

Practic, pentru efectuarea unei cuplări corecte, ținînd seamă de cele arătate la conectarea în paralel a transformatoarelor monofazate, *se procedează astfel :*

— se verifică dacă cuplarea transformatoarelor vechi s-a făcut în concordanță cu marcarea bornelor, adică dacă marcajul barelor de legătură corespunde cu al bornelor transformatoarelor ;

— se efectuează conectarea înfășurărilor primare ale transformatorului nou la bare ;

— se leagă o bornă a secundarului cu o fază a rețelei pe care debitează și celelalte transformatoare. Se încearcă apoi pe rînd legarea celorlalte două borne, efectuînd legătura prin lampă sau voltmetru. Conectarea este corectă, atunci cînd în ambele încercări lampa rămîne stinsă sau voltmetrul nu indică ;

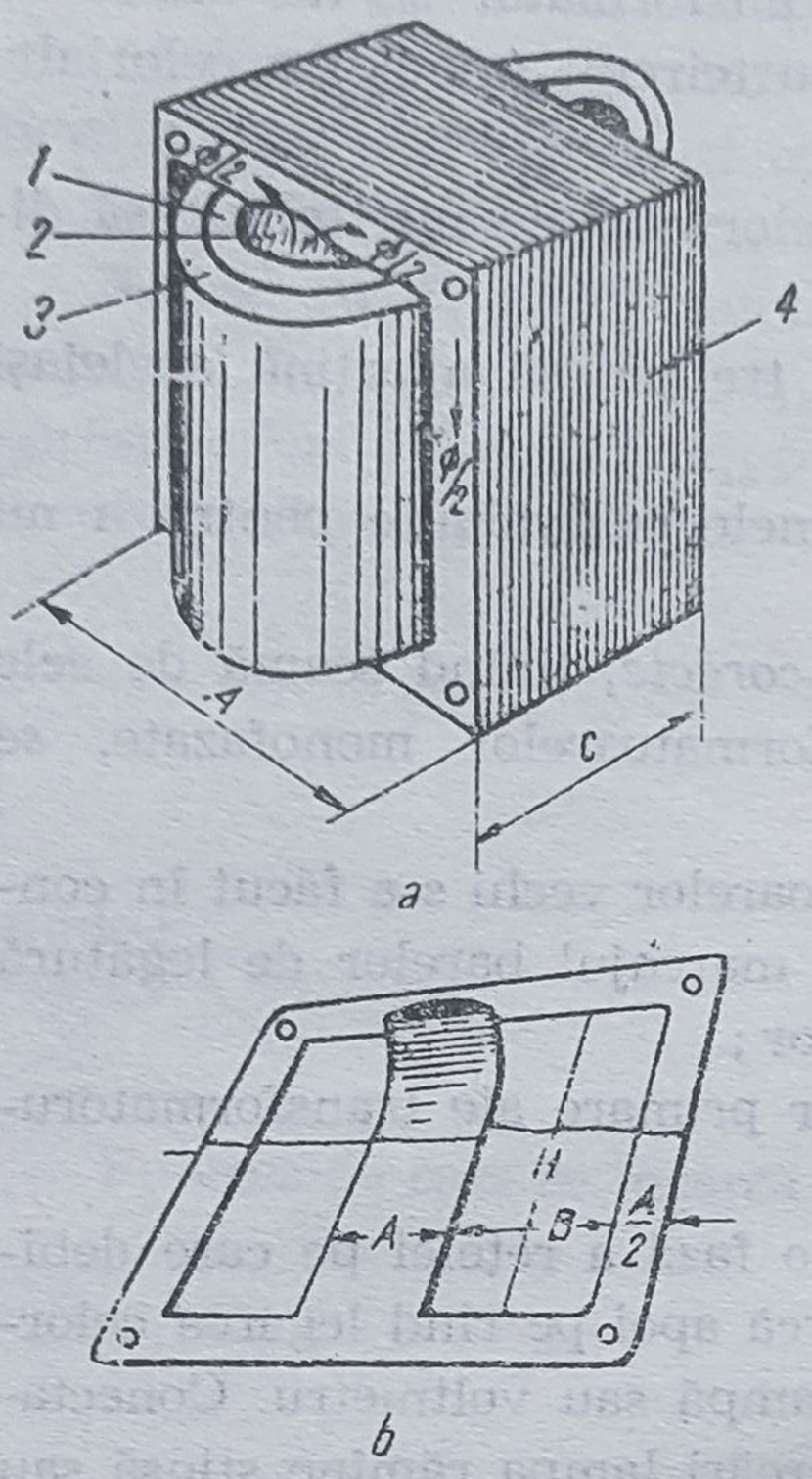
— se face legătura definitivă în poziția corect stabilită.

B. CONSTRUCȚIA TRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele electrice, așa cum s-a arătat și la descrierea generală, sînt de mai multe feluri, construcția lor trebuind să fie adaptată condițiilor impuse.

1. MIEZUL MAGNETIC AL TRANSFORMATOARELOR

În figurile precedente s-a prezentat schematic transformatorul monofazat cu miezul ca un cadru dreptunghiular și cu bobinele așezate pe cele două laturi. În practică nu se folosește acest sistem, deoarece fluxul de scăpări este considerabil de mare. Pentru înlăturarea acestui neajuns, bobinajul primar și cel secundar se așază unul peste celălalt și împreună se montează pe aceeași coloană.



a

b

Fig. 1-15 Transformator monofazat în manta :

a — construcția generală ; 1 — înfășurarea secundară ; *2 —* coloană centrală ; *3 —* înfășurare primară ; *4 —* coloană laterală ; *b — tola transformatorului.*

● În figura 1 — 15 se arată **o construcție reală de transformator monofazat,** cunoscut sub denumirea de *transformator în manta,* și *tola* din care este confecționat miezul unui astfel de transformator.

Spațiul gol cuprins între două coloane ale miezului formează *fereastra miezului ;* ea trebuie să fie suficient de mare pentru ca să intre prin ea înfășurările și izolația. Miezul este format din atîtea tole cît este necesar pentru a asigura secțiunea netă de fier.

Dimensiunile geometrice ale coloanelor (spre exemplu $A \times C$, fig. 1-15) nu coincid cu secțiunea efectivă de fier, deoarece o parte din spațiu este ocupat de hîrtie sau de lacul de izolare a tolelor. În cazuri speciale se folosesc și miezuri cu forme de cadru dreptunghiular, bineînțeles tot cu bobinele concentrice.

Fixarea tolelor se face cu șuruburi, nituri sau scoabe.

● **Transformatoarele trifazate** au în general o construcție ca cea arătată în figura 1-4. Particularități constructive sînt impuse de puterea transformatorului, de anumite destinații speciale etc.

● **Construcția miezului magnetic.** Acesta se confecționează din tole de oțel silicios, izolate între ele, în scopul micșorării pierderilor prin histerezis și prin curenții turbionari.

Grosimile folosite în mod curent sînt : 0,35 și 0,5 mm. Izolarea se face cu foiță lipită cu dextrină, prin acoperirea cu lacuri insolubile în ulei și rezistente la temperatura de lucru a transformatorului, sau prin oxidarea tolelor.

Pierderile prin histerezis se reduc prin folosirea de oțeluri aliate cu siliciu (3,3+5% Si)*.

Tolele se taie astfel ca direcția fluxului să coincidă cu sensul de laminare, ceea ce micșorează pierderile.

Prelucrarea tolelor are o influență negativă asupra pierderilor, adică le mărește. Bavurile, strivirile, găurile prea dese etc., produc o creștere a pierderilor în fier.

La transformatoarele trifazate, coloanele și jugurile se pot asambla prin strîngere sau prin îmbinare țesută (fig. 1-16).

— *La transformatoarele cu asamblarea miezului prin strîngerea jugului pe coloană* (fig. 1-16, *a*), pentru a micșora cît mai mult întrefierul dintre jug și coloane se rabotează suprafețele de contact în lungul tole-

* Tablă silicioasă pentru mașini rotative și transformatoare, STAS 637-60.

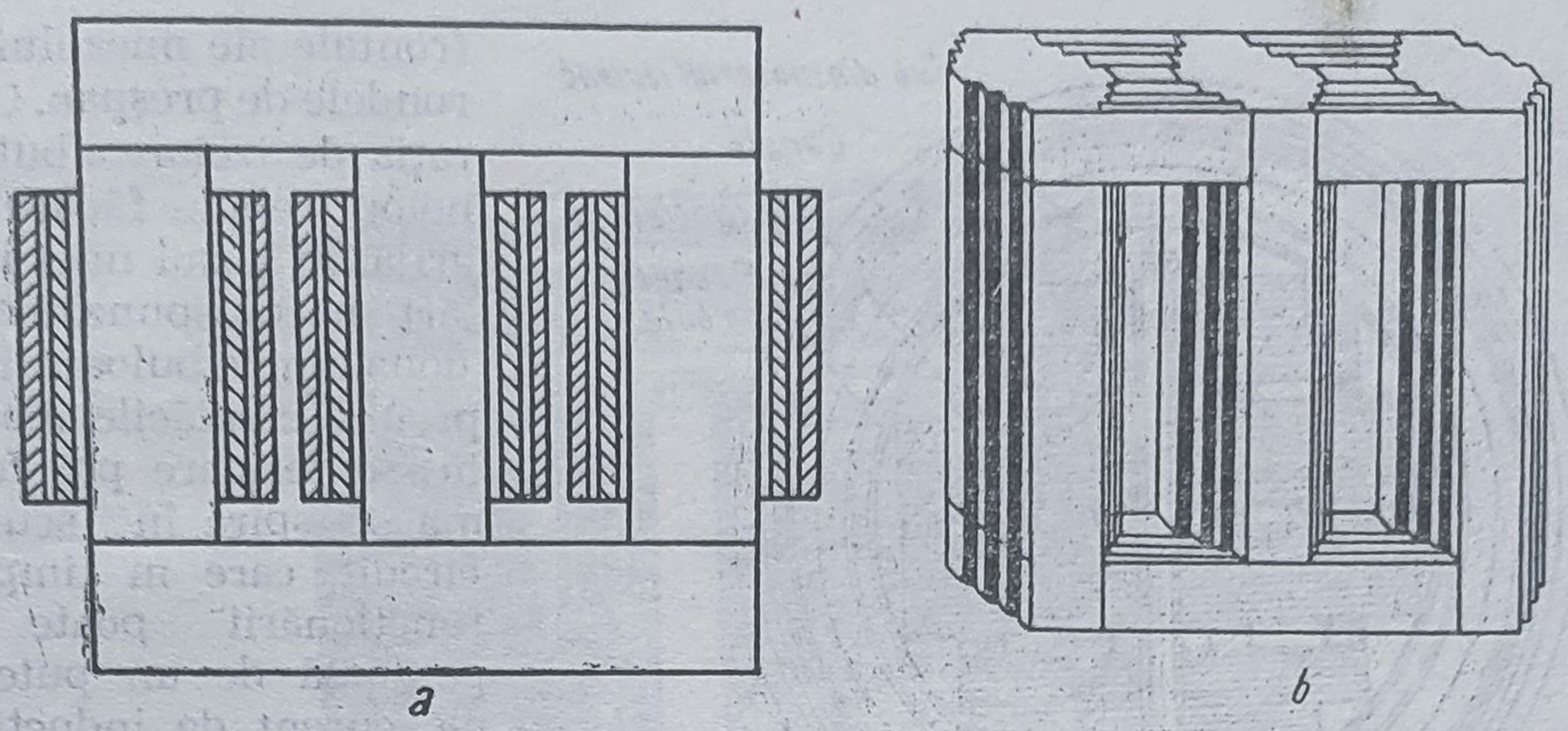


Fig. 1-16. Miez de transformator trifazat :
a — asamblare prin strîngere ; b — asamblare prin țesere.

lor și se strîng puternic cu ajutorul unor tiranți. Pentru a evita formarea unei suprafețe de contact continue între cele două piese, în întrefier se intercalează o foaie de preșpan subțire. O asamblare necorespunzătoare (strîngere slabă) creează un întrefier mare, fapt ce dă loc la o creștere însemnată a curentului de magnetizare și la vibrații puternice.

— În majoritatea cazurilor se folosește însă *asamblarea miezurilor din tole prin țesere* (fig. 1-6, *b*), straturile de tole alternînd ca schemă de împachetare, așa cum se vede în figura 1-17.

La acest fel de miez, numărul tipurilor de tole este mai mare, fiecare strat din pachet compunîndu-se din trei tipuri de tole.

— Din motive tehnologice și datorită faptului că în general izolația se distruge la colțuri, *pentru diametre mari ale conductoarelor* nu se pot realiza bobine dreptunghiulare ; de aceea, transformatoarele se fac cu bobine rotunde. În acest caz, secțiunea coloanelor nu mai este dreptunghiulară, ci se adoptă secțiunea în trepte, așa cum se vede în figura 1-18. Numărul și înălțimea treptelor se alege astfel, încît forma coloanei să fie cît mai apropiată de cerc. În acest caz și secțiunea jugurilor se fac în trepte. Această construcție prezintă și avantajul că prin spațiile dintre trepte și înfășurări poate circula fluidul (aer sau ulei) care răcește miezul.

— *La transformatoarele de mare putere, unde secțiunile de fier sînt mari*, pentru asigurarea răcirii se execută canale, așa cum se vede în figura 1-18. În această situație, fluidul de răcire circulă prin aceste canale și prin spațiul dintre miez și înfășurări.

Buloanele se izolează față de pereții găurii cu tuburi de pertinax, iar piulițele și rondelele metalice se izolează față de părțile

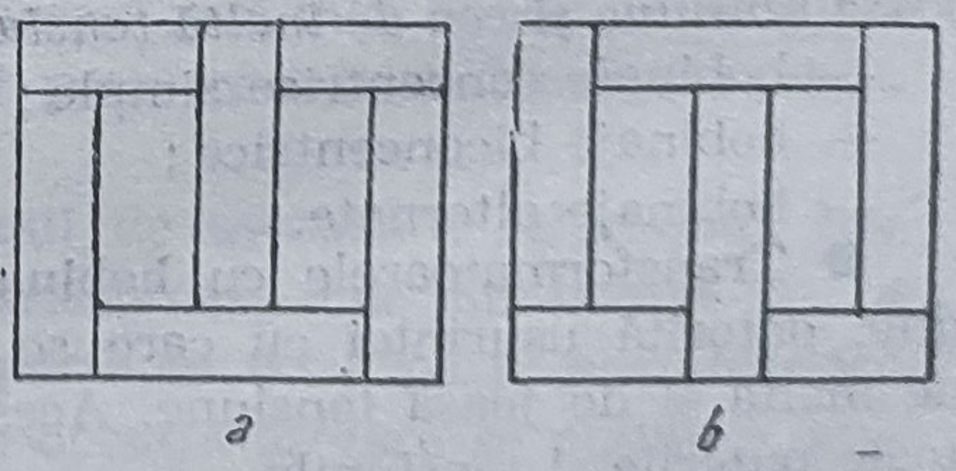


Fig. 1-17. Straturile consecutive de tole la un transformator trifazat :
a — strat par ; b — strat impar.

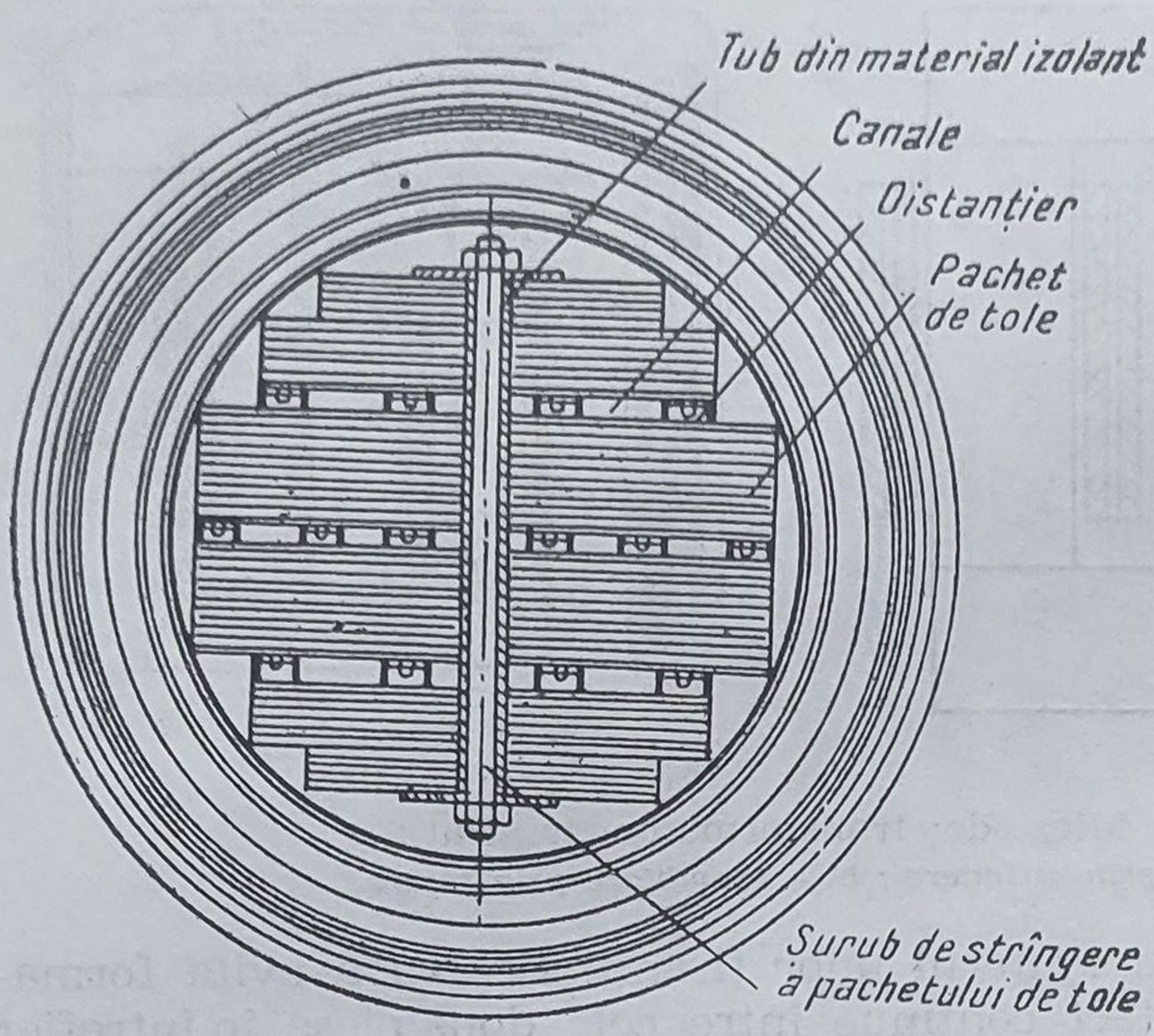


Fig. 1-18. Secțiune printr-o coloană cu canale de răcire.

frontale ale miezului cu rondele de preșpan. Operația de izolare a buloanelor trebuie făcută cu grijă. În cazul unei izolări necorespunzătoare, două dintre buloane împreună cu plăcile metalice exterioare pot forma o spiră în scurt-circuit, care în timpul funcționării poate fi parcursă de un puternic curent de inducție, ceea ce produce o încălzire mare.

2. BOBINELE DE JOASĂ ȘI ÎNALTĂ TENSIUNE

Bobinele transformatoarelor (fig. 1-19) se execută în general din conductoare de cupru ; s-a început confecționarea bobinelor și din conductoare de aluminiu, dar acest sistem prezintă însă dificultăți la lipire și sudare.

Se folosesc conductoare cu secțiune rotundă pînă la 8 mm^2, iar peste această valoare se întrebuințează bare cu secțiunea dreptunghiulară și — mai rar — pătrată. Conductoarele cu secțiune mică se livrează izolate cu fire de bumbac, de mătase sau cu bandă de hîrtie. Conductoarele cu secțiune rotundă se livrează izolate cu diferite lacuri rezistente la ulei. La secțiuni mari conductoarele se izolează după bobinare, deoarece există pericolul ca izolația din fire sau lacuri să se deterioreze în timpul bobinării.

În cazul folosirii conductoarelor bară, se cere ca aceasta să aibă colțurile puțin rotunjite. După bobinare, barele de cupru se supun unui tratament de recoacere, se decapează și apoi se izolează cu bandă de bumbac.

Bobinajele transformatoarelor, *după poziția reciprocă între bobina de joasă tensiune și cea de înaltă tensiune*, se pot clasifica astfel :

— bobinaje concentrice simple ;
— bobinaje biconcentrice ;
— bobinaje alternate.

● Transformatoarele cu **bobinaje concentrice** sînt cele mai răspîndite, datorită ușurinței cu care se poate realiza izolația între bobinele de înaltă și de joasă tensiune. Acest tip de bobinaje este folosit pentru toate puterile și tensiunile.

Modul de așezare a celor două bobinaje este arătat în figura 1-20, *a*. *Bobinajul de joasă tensiune* se așază lîngă coloană, fiind mai ușor de

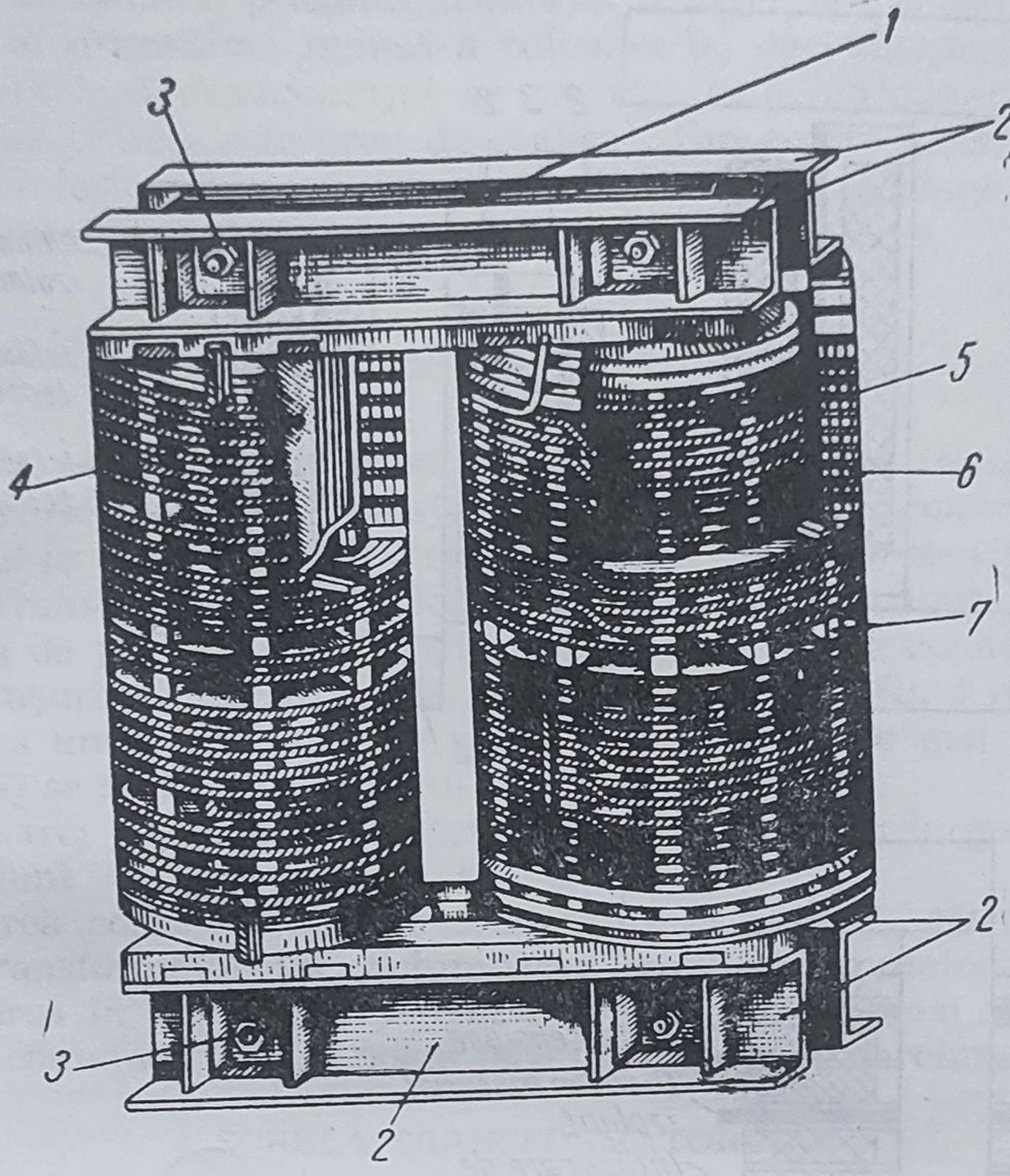


Fig. 1-19. Bobinajul transformatoarelor :

1 — jug ; *2* — traversă de strîngre ; *3* — bulon ; *4* — coloană ; *5* — bobină de I. T. ; *6* — bobină de J. T. ; *7* — distanţor.

asigurat izolaţia faţă de masa metalică. *Bobinajul de înaltă tensiune* se montează concentric — în exterior — între înfăşurări lăsîndu-se un spaţiu care serveşte pentru răcire şi pentru izolarea electrică a celor două bobinaje. Pentru asigurarea izolaţiei, se poate aşeza între cele două bobinaje concentrice şi un cilindru dintr-un material electroizolant.

La transformatoarele mici şi cu tensiuni pînă la 3 000 V, bobinele se execută pe o carcasă. Se bobinează pe carcasă mai întîi bobinajul de joasă tensiune se aplică apoi un strat izolant peste care se bobinează bobinajul de înaltă tensiune.

● La **bobinajele biconcentrice,** modul de aşezare a celor două bobine este arătat în figura 1-20, *b*. În acest caz, una din bobine — în general cea de joasă tensiune — se împarte în două părţi, aşezate de o parte şi de alta a celeilalte bobine. Prin această aşezare se obţine o tensiune de scurtcircuit mai mică, precum şi o răcire bună. Bobinajele biconcentrice se folosesc în general la transformatoarele mari.

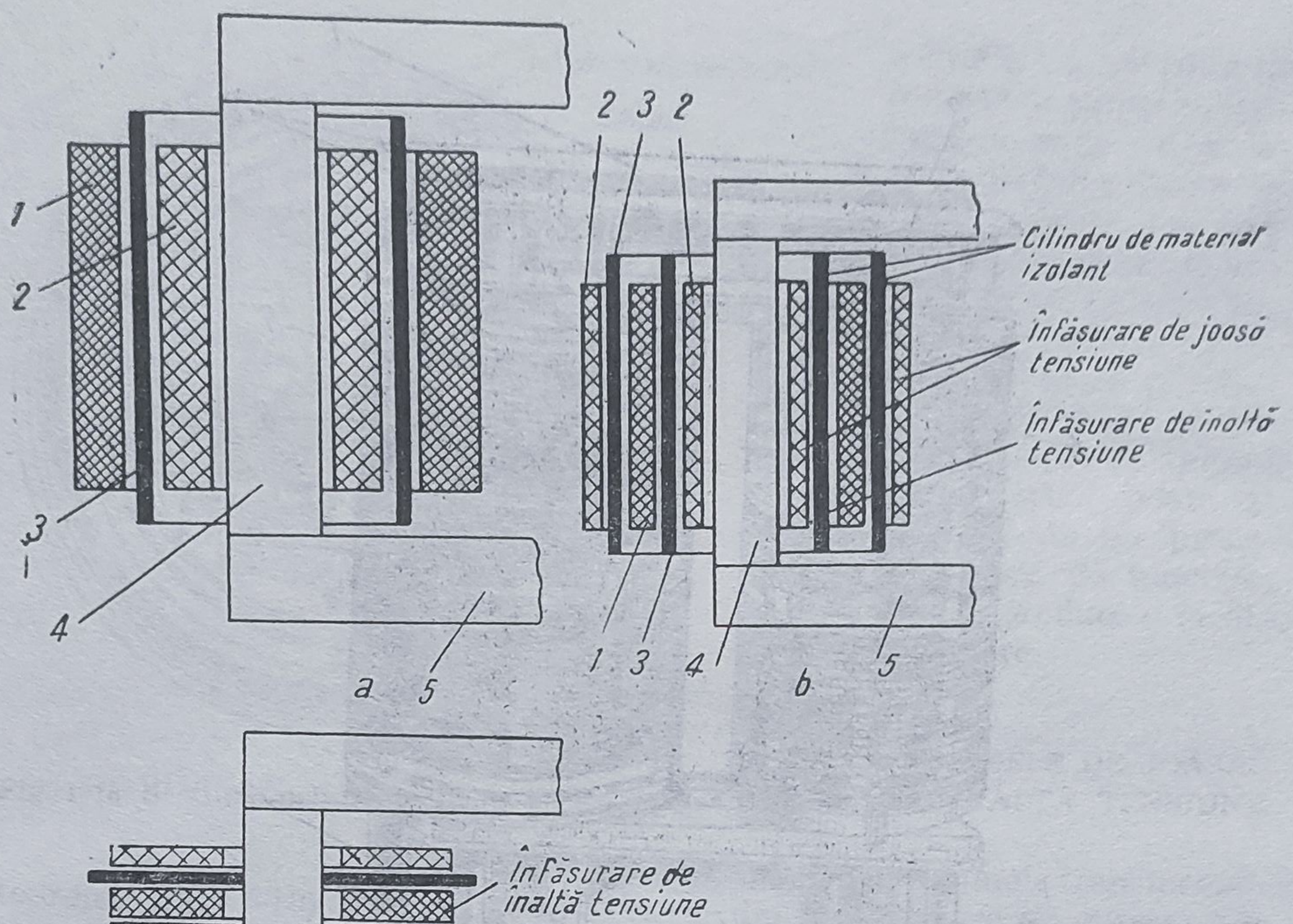


Fig. 1-20. Poziția bobinelor pe miez :

a — înfășurări concentrice ; *b* — înfășurări biconcentrice ; *c* — înfășurări alternate ;
1 — înfășurare de I.T ; *2* — înfășurare de *JT* ; *3* — cilindru (disc — la înf. alternate) din material electroizolator ; *4* — coloana miezului magnetic ; *5* — jugul miezului.

● Așezarea bobinelor de joasă și înaltă tensiune în **cazul unei bobinări alternate** este arătată în figura 1-20, *c*. În acest caz, bobinajele sînt alcătuite din bobine plate — numite *galeți* — care se așază alternînd între ele. Bobinele de joasă tensiune sînt legate în serie, formînd astfel înfășurarea de joasă tensiune și, la fel, cele de înaltă tensiune. Așezarea bobinelor se face în așa fel încît la capetele coloanei să se monteze cîte un galet de joasă tensiune, cuprinzînd jumătate din numărul de spire al unui galet normal.

Acest tip de bobinaj prezintă *avantajul* că duce la o tensiune de scurt-circuit mică și o înălțime redusă a coloanei (și deci pierderi în fier mai mici). Prezintă însă *dezavantajul* că răcirea este îngreunată și izolația între cele două bobine este greu de realizat. Din aceste motive, bobinarea alternată se folosește pentru transformatoare cu o tensiune maximă de 20 000 V și puteri relativ mici.

3. PRIZELE DE REGLAJ ȘI COMUTATORUL

Prizele de reglaj *permit modificarea raportului de transformare* (în limitele restrînse), *astfel ca transformatorul să poată fi conectat în rețele de distribuție în care există căderi de tensiune sau supratensiuni mici.* În general, la transformatoarele folosite în rețele de distribuție, prizele de reglaj se iau de pe bobina de înaltă tensiune, deoarece conductorul fiind mai subțire ușurează execuția ; de asemenea, curentul fiind mai mic permite folosirea unui comutator de prize de o construcție mai simplă. Prizele de reglaj se scot de la mijlocul bobinajului.

Prin cele trei poziții ale comutatorului se pot realiza în general următoarele tensiuni : $U_n + 5\%$, U_n și $U_n - 5\%$.

Manevrarea comutatorului se face printr-o manetă aflată deasupra capacului transformatorului. Schimbarea poziției comutatorului se face la funcționarea în gol sau la sarcini foarte reduse. Numai la construcții speciale ale comutatorului se poate face un reglaj sub sarcină.

4. SCHELA TRANSFORMATORULUI

Ansamblul de piese care susține miezul și bobinele formează **schela transformatorului.** În compunerea schelei se folosesc piese masive de fontă și oțel și, la transformatoarele mai mici, piese din lemn de esență tare, bine uscat și fiert în ulei. În figura 1-21 se arată construcția unei schele dintre cele mai simple.

Se vede că schela este asamblată prin tiranți, direct cu capacul cuvei în care se introduce transformatorul.

În construcția transformatorului *schela are următoarele roluri* :

— să permită ridicarea cu macaraua pentru scoaterea din cuvă a transformatorului ;

— să asigure distanțele necesare pentru a nu se mai produce străpungeri între bobinaje și partea metalică a transformatorului ;

— să asigure un contact electric bun între miez și cuva transformatorului, pentru a se putea realiza astfel punerea la pământ a miezului. Legătura dintre miez și schelă se face prin intermediul unei foi de cupru cositorită și care se întinde și se presează peste muchiile tolelor, introducîndu-se cu un capăt între două tole ale pachetului ;

— să susțină celelalte piese ale transformatorului, ca de exemplu : tuburi izolante, plăci de borne etc. ;

— să strîngă înfășurările în sens axial fie rigid, fie elastic, prin intermediul unor resorturi. Asamblarea trebuie să reziste la eforturile elec-

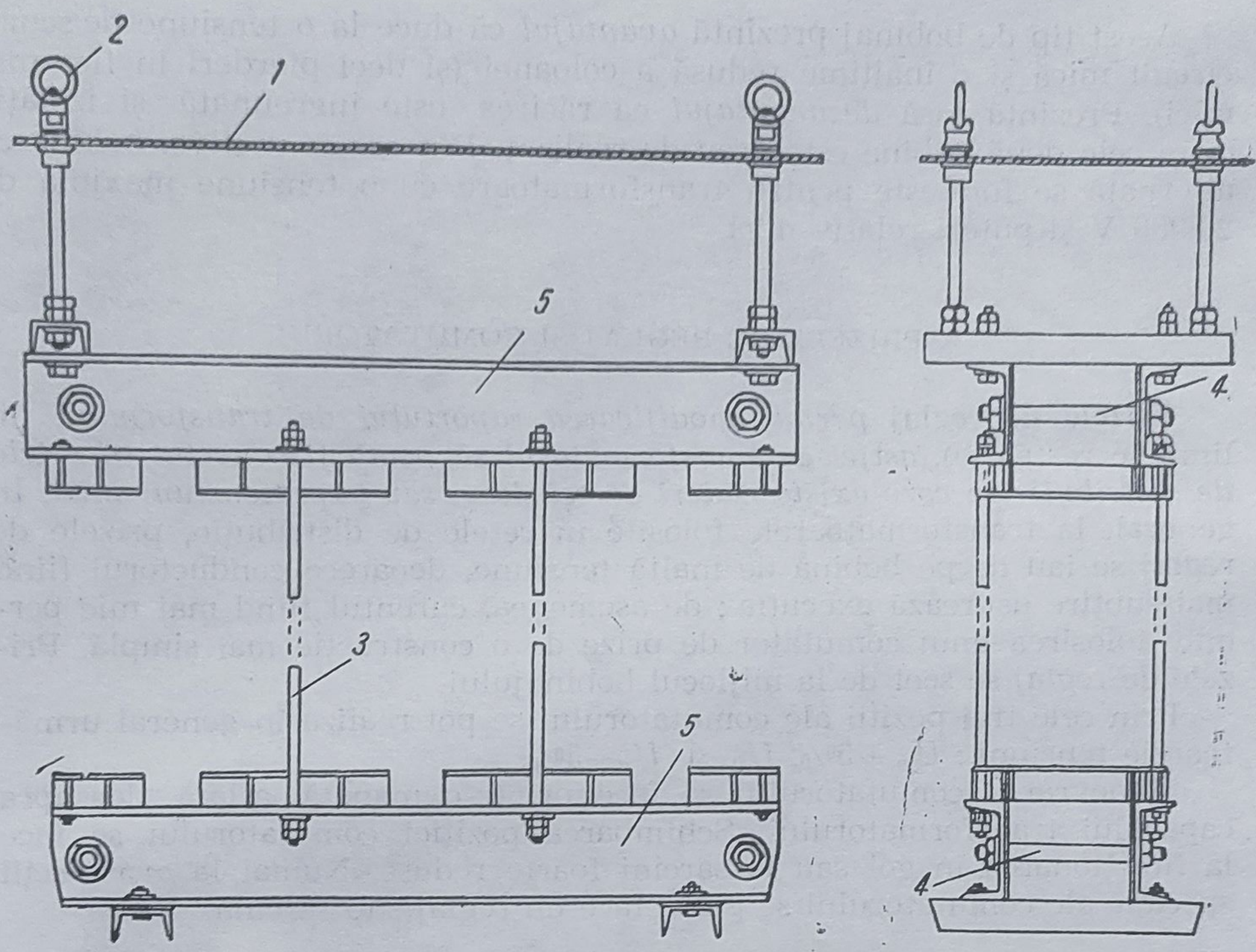


Fig. 1-21. Schela transformatorului :

1 — capacul cuvei ; *2* — inel de agăţare ; *3* — tirant de strîngere longitudinal ; *4* — tirant de strîngere transversal ; *5* — traverse pentru strîngerea jugurilor

tromagnetice produse în înfăşurare, în momentul punerii transformatorului în sarcină sau în situaţia accidentală de scurtcircuit ;

— să ţină strîns diferitele pachete de tole ce compun miezul. În cazul că jugurile se asamblează prin strîngere, schela trebuie să producă compresiunea necesară pentru micşorarea la minim a întrefierului.

5. CUVA ŞI CAPACUL

● La transformatoarele în ulei, întregul sistem electromagnetic (miezul şi înfăşurările) este închis într-o **cuvă de oţel** umplută cu ulei de transformator. Aşa cum s-a arătat mai înainte, la funcţionarea transformatorului o parte din energie se transformă în căldură datorită pierderilor în cupru şi oţel. Uleiul, pe lîngă calităţile sale izolatoare, serveşte şi la evacuarea spre exterior a căldurii.

Cuva se construieşte din tablă de oţel, grosimea fiind determinată de mărimea şi greutatea pe care o are de suportat.

Pentru uşurinţa transportului, cuva este fixată pe un cărucior cu roţi. Cuva este vopsită în interior cu o vopsea rezistentă la ulei.

Fundul cuvei este prevăzut cu un robinet de golire a uleiului. La unele transformatoare mai există şi un robinet mic, plasat uneori chiar în partea superioară a cuvei prin care se iau probe de ulei.

Cuva trebuie de asemenea *prevăzută cu o bornă de pămînt;* prin aceasta se face legătura la pămînt a întregii construcţii metalice a transformatorului, întrucît miezul de oţel trebuie să aibă o legătură sigură cu schela sa.

● **Capacul** asigură o închidere etanşă a cuvei, fiind fixat de aceasta prin buloane. La majoritatea transformatoarelor capacul este fixat pe schela transformatorului, astfel încît la ridicarea lui să fie scos în acelaşi timp şi transformatorul din cuvă. Capacul se confecţionează din tablă de oţel, suficient de groasă pentru a rezista eforturilor la care este supus la decuvări şi în cazul cînd miezul nu se sprijină pe fundul cuvei.

Pe capac se află : izolatoarele prin care trec bornele de legare a transformatorului la reţea, termometrul ce indică temperatura straturilor superioare de ulei, urechile de ridicare, mînerul comutatorului de prize, ţeava de legătură cu conservatorul de ulei, supapa de siguranţă (la unele transformatoare lipseşte).

Etanşarea capacului cu cuva se realizează printr-o garnitură de klingherit sau cauciuc insolubil în ulei.

6. CONSERVATORUL DE ULEI

Conservatorul de ulei este un vas cilindric aşezat deasupra cuvei şi care comunică cu cuva printr-o ţeavă fixată în capac. Astfel cuva transformatorului este complet umplută cu ulei şi uleiul dilatat prin încălzire se ridică în conservator. Umplerea cu ulei se face astfel ca la temperatura maximă, conservatorul să fie plin.

Nivelul uleiului este controlat printr-un nivel cu ţeavă de sticlă montat la conservator.

Pe lîngă faptul că *asigură umplerea completă şi permanentă a cuvei cu ulei,* conservatorul *ajută* şi *la conservarea uleiului de transformator în timp,* deoarece acesta în contact cu aerul se oxidează şi îşi pierde calităţile dielectrice (la o cuvă fără conservator, contactul între ulei şi aer se face pe o suprafaţă mai mare şi, la o temperatură mai ridicată posibilităţile de alterare sînt mai mari). De asemenea la transformatoarele cu conservator, *capacul este în contact cu uleiul cald, ajutînd astfel la răcire, iar în timpul iernii* (la transformatoarele din staţii neacoperite), *zăpada depusă pe capac se topeşte şi nu mai prezintă pericol de străpungere a spaţiului dintre izolatoare.* Conservatorul comunică cu exteriorul printr-o gură de umplere cu ulei care se închide cu un buşon, precum şi printr-un aparat de deshidratare a aerului, care constituie singura cale pe unde poate pătrunde aerul în conservator. În acest aparat se pune silicagel sau clorură de calciu (substanţe foarte avide de apă) astfel că aerul ce pătrunde în conservator este deshidratat.

Pe ţeava de legătură dintre conservator şi cuvă se montează un releu de gaze (cunoscut şi sub denumirea de releu Buchholz).

7. RELEUL DE GAZE

Releul de gaze (releul Buchholz) este un releu cu plutitoare, care *protejează transformatoarele electrice în ulei la apariția unor deranjamente interioare.*

Figurile 1-22 *a*, *b* și *c* reprezintă secțiuni longitudinale prin releu și prin circuitul auxiliar care alimentează, în curent continuu sau alternativ, declanșatorul întreruptorului de protecție a transformatorului și instalația de alarmă. Releul de gaze are funcția de a întrerupe circuitul auxiliar ; în mod normal, el ține deschis circuitul întreruptorului și al dispozitivului de alarmă, iar la deranjamente, el închide circuitele respective.

Figura 1-22, *a* reprezintă releul Buchholz **cînd transformatorul funcționează normal.** El are o încăpere plină cu ulei ; plutitoarele P_1 și P_2 sînt ridicate, iar contactele cu mercur *3* și *4* sînt deschise și, deci, aparatele din circuitele auxiliare *1* și *2* nu sînt acționate.

Cînd se produce în transformator un defect care este însoțit de formarea de gaze, bulele de gaz ajung în partea superioară a releului (fig. 1-22, *b)* și, datorită presiunii coboară nivelul uleiului ; plutitorul superior P_1 coboară deci la noul nivel de ulei, închizînd contactul *3* ; acesta închide circuitul de alarmă, făcînd să funcționeze dispozitivele acustice și optice ale acestuia.

Dacă defectul din transformator este mai mare (un scurtcircuit, un arc electric), gazele formate brusc și în mare cantitate pătrund cu violență în releu (fig. 1-22, *c)*, izbind plutitorul inferior P_2, care închide contactul *4* și deci circuitul declanșatorului întreruptorului. Acesta decuplează transformatorul, împiedicînd astfel întinderea defectului. Analiza chimică a gazului adunat în partea superioară a releului dă indicații asupra naturii defectului, ușurînd astfel găsirea lui și repararea. Releul cu două plutitoare se folosește pentru transformatoarele mari (peste 400 kVA). La transformatoarele mici se folosește releul cu un singur plutitor.

8. BORNELE ȘI IZOLATOARELE

Înfășurările se leagă la rețeaua de distribuție prin intermediul **bornelor.**

Izolarea bornelor la trecerea lor prin capac și fixarea lor pe capac se face cu ajutorul **izolatoarelor.**

Bornele se confecționează din cupru sau alamă și au secțiunea potrivită cu valoarea curentului care le străbate.

La cele două capete sînt filetate pentru a se putea efectua racordarea la rețea și la înfășurare.

În majoritatea cazurilor, izolatoarele sînt executate din porțelan glazurat la exterior, cu o constituție compactă, deoarece orice fisură poate provoca străpungeri de la bornă la capac.

Izolatoarele sînt fixate pe flanșe de susținere care, la rîndul lor, se fixează pe capac. Prinderea izolatorului de flanșe se face cu un chit special ca o pastă moale și omogenă, preparat din litargă (oxid de plumb) și glicerină. Cu această pastă se umple spațiul dintre izolator și flanșa metalică, lăsîndu-se nemișcat timp de 24 ore pentru a face priză.

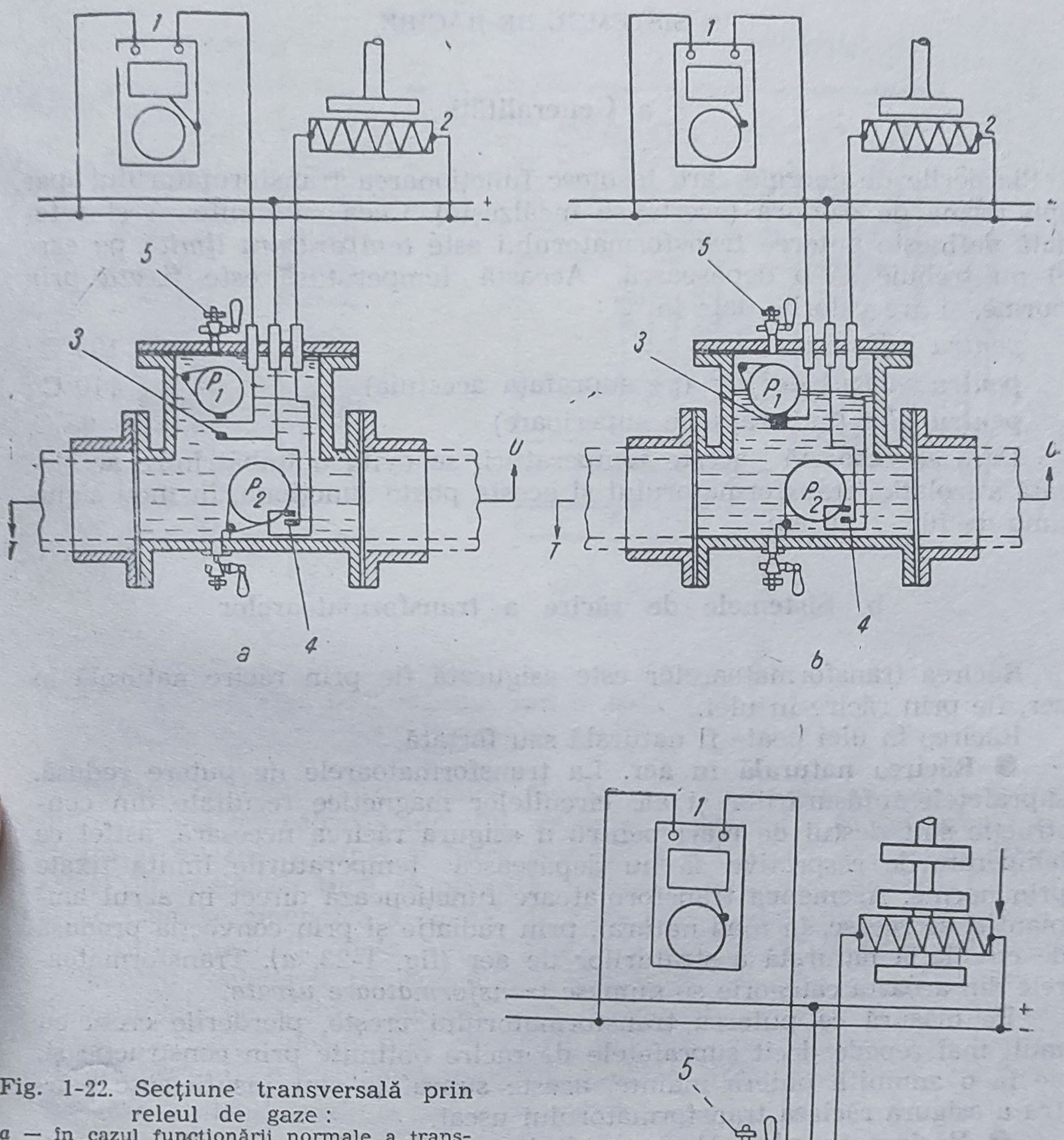


Fig. 1-22. Secțiune transversală prin releul de gaze :
a — în cazul funcționării normale a transformatorului ; *b* — în cazul unui început de defect ; *c* — în cazul unui defect grav ; *1* — instalație de alarmă ; *2* — declanșatorul întreruptorului ; *3* și *4* — contacte cu mercur ; *5* — robinet pentru analiza gazelor ; P_1 — plutitor superior ; P_2 — plutitor inferior ; *T* — spre transformator ; *U* — spre conservatorul de ulei.

9. SISTEMUL DE RĂCIRE

a. Generalităţi

Pierderile de energie care însoţesc funcţionarea transformatorului apar sub formă de căldură (acesta se încălzeşte). Ceea ce limitează şi totodată defineşte puterea transformatorului este *temperatura limită* pe care el nu trebuie să o depăşească. Această temperatură este *fixată prin* norme, şi are valorile date în °C :

pentru înfăşurare	105°C ;
pentru miezul de fier (pe suprafaţa acestuia)	110°C ;
pentru ulei (în straturile superioare)	95°C.

Dacă se respectă aceste temperaturi, se evită o îmbătrînire accelerată a izolaţiei transformatorului şi acesta poate funcţiona, în mod sigur, timp de 10 . . . 20 ani.

b. Sistemele de răcire a transformatoarelor

Răcirea transformatoarelor este asigurată fie prin răcire naturală în aer, fie prin răcire în ulei.

Răcirea în ulei poate fi naturală sau forţată.

● **Răcirea naturală în aer.** La transformatoarele de putere redusă, suprafeţele înfăşurărilor şi ale circuitelor magnetice rezultate din construcţie sînt destul de mari pentru a asigura răcirea necesară, astfel ca temperaturile respective să nu depăşească temperaturile limită fixate prin norme. Asemenea transformatoare funcţionează direct în aerul ambiant şi se răcesc, în mod natural, prin radiaţie şi prin convecţia produsă de circulaţia naturală a straturilor de aer (fig. 1-23, *a)*. Transformatoarele din această categorie se numesc *transformatoare uscate*.

Pe măsură ce puterea transformatorului creşte, pierderile cresc cu mult mai repede decît suprafeţele de răcire obţinute prin construcţie şi, de la o anumită putere înainte, aceste suprafeţe sînt insuficiente pentru a asigura răcirea transformatorului uscat.

● **Răcirea în ulei.** Marea majoritate a transformatoarelor se construiesc cu răcirea în baie de ulei. Uleiul asigură o evacuare intensă, prin convecţie, a căldurii din înfăşurări şi din miezul transformatoarelor.

Într-o asemenea construcţie transformatorul se scufundă într-o cuvă de oţel umplută cu ulei mineral. Datorită diferenţelor de temperatură din interiorul cuvei, uleiul circulă printre părţile componente ale transformatorului, se încălzeşte în contact cu spirele înfăşurărilor şi cu miezul de fier şi duce cu el căldura primită, pe care o cedează mediului ambiant prin pereţii cuvei sau ai dispozitivului de răcire a transformatorului. În modul acesta se creează automat un curent de circulaţie continuă a uleiului — cu atît mai intens, cu cît uleiul este mai încălzit — care transportă căldură spre pereţii cuvei sau ai dispozitivelor de răcire (fig. 1-23, *b*).

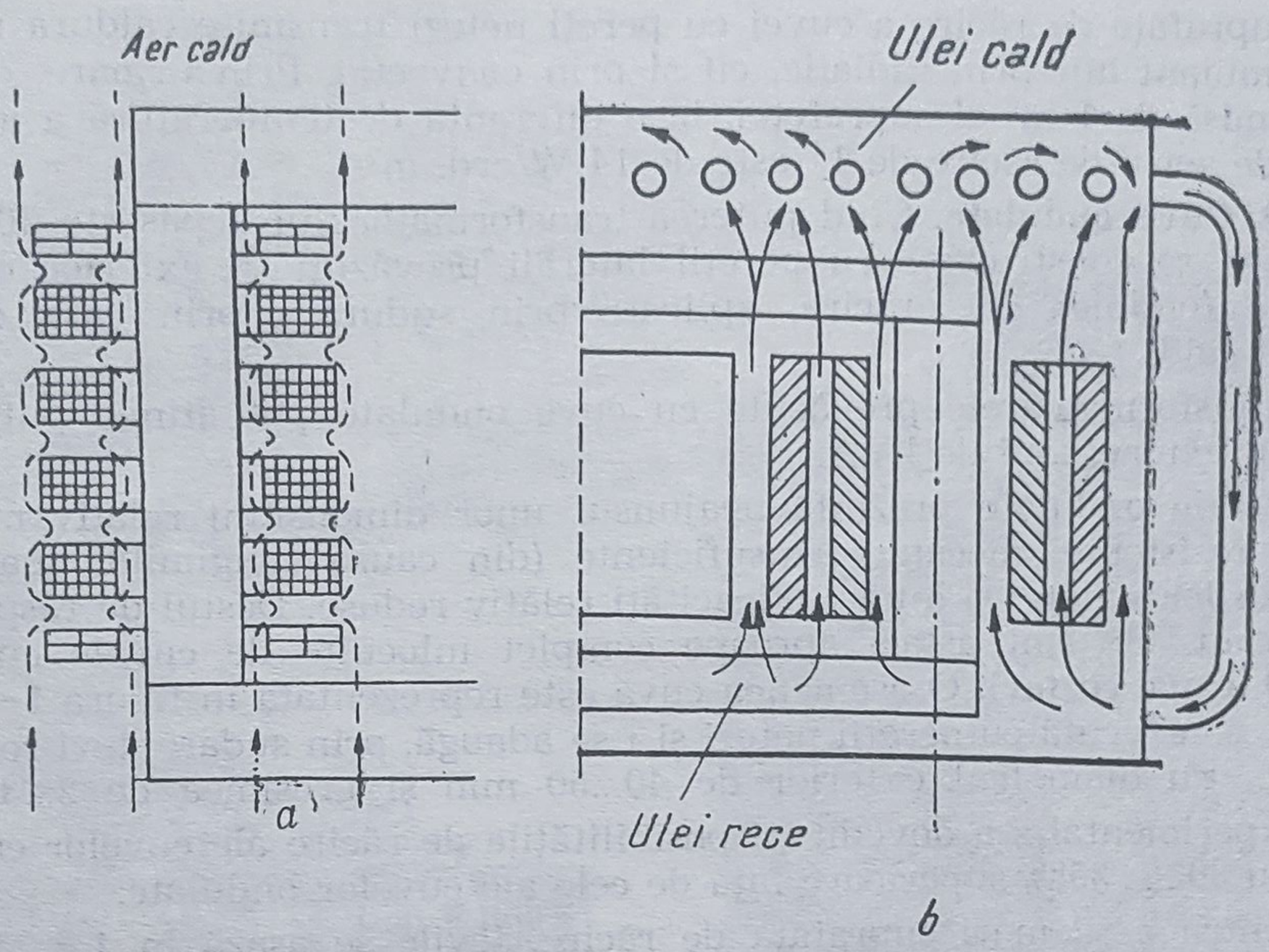


Fig. 1-23. Schema răcirii unui transformator :
a — în aer ; b — cu ulei.

Pentru ca toate părțile calde ale transformatorului să poată transmite energia lor calorică uleiului, se amenajează între înfășurarea interioară și miezul coloanei și între cele două înfășurări *canale de răcire*, astfel dimensionate încît să permită o bună circulație a uleiului. La unitățile mari se amenajează canale de circulație a uleiului și în interiorul circuitului magnetic, de-a lungul miezului de fier al transformatorului.

Pentru realizarea transportului căldurii de la miez și înfășurări la dispozitivele de răcire, este necesară o circulație permanentă a uleiului în interior, care poate fi o *circulație naturală* sau o *circulație forțată*. Uleiul prezintă o circulație naturală, datorită diferenței între greutatea specifică a uleiului cald și cea a uleiului rece.

c. Răcirea naturală a transformatoarelor

Căldura produsă în transformator este transmisă aerului ambiant prin suprafața exterioară a cuvei de ulei și prin dispozitivele speciale de răcire ale transformatoarelor. Cuva reprezintă un element important în procesul de răcire.

Formele constructive ale cuvei de ulei variază după modul de răcire a transformatorului.

Cuvele transformatoarelor cu răcire naturală se construiesc : cu pereții netezi, cu pereții ondulați, cu țevi de răcire și cu radiatoare.

● **Cuve cu pereții netezi.** Astfel de cuve se folosesc pentru tranformatoare a căror putere nu depășește cca. 30 kVA.

Suprafața de răcire a cuvei cu pereți netezi transmite căldura mediului ambiant atît prin radiație, cît și prin convecție. Prin urmare, căldura transmisă de 1 m^2 al suprafeței, la o diferență de temperatură a acesteia față de aerul de răcire de 1° este de 14 W/grd. m^2.

● **Cuve ondulate.** Cînd puterea transformatorului depășește 30 kVA, cuva sa se construiește cu pereții laterali prevăzuți în exterior cu aripioare (ondule) de răcire, aplicate prin sudură, prin care circulă uleiul cald.

Transformatoarele prevăzute cu cuve ondulate pot atinge puteri de ordinul cîtorva mii de kVA.

Cuvele ondulate prezintă neajunsul unor dimensiuni relativ mari, a unei rezistențe mecanice insuficiente (din cauza lungimilor mari ale cusăturilor sudate) și a unei eficacități relativ reduse. Destul de răspîndite în trecut, ele sînt astăzi aproape complet înlocuite de cuvele cu țevi.

● **Cuve cu țevi.** O asemenea cuvă este reprezentată în figura 1—24, *a*.

Ea se execută cu pereții netezi și i se adaugă, prin sudare, țevi rotunde de fier cu diametrul exterior de 40...50 mm și grosimea de 2...3 mm.

Experimental s-a dovedit că posibilitățile de răcire ale cuvelor cu țevi sînt cu 30 . . . 35% superioare față de cele ale cuvelor ondulate.

Pentru a se mări suprafața de răcire, țevile se așază în 1 . . . 5 rînduri, de obicei alternate. Trebuie însă ținut seama că mărimea numărului rîndurilor de țevi reduce eficacitatea transmiterii căldurii, înrăutățind condițiile convecției.

Se construiesc transformatoare cu cuve prevăzute cu țevi pentru puteri pînă la cca. 5 000 kVA.

● **Cuve cu radiatoare.** Se poate mări și mai mult suprafața de răcire a transformatorului prevăzînd cuva cu radiatoare de răcire (fig. 1-24, *b*). Aceste radiatoare se așază de-a lungul cuvei, cînd numărul lor este mic, sau radial cînd numărul lor este ridicat (transformatoarele de putere mare).

Fiecare radiator constă dintr-un șir de țevi verticale care comunică între ele, la partea superioară și inferioară, prin două colectoare legate, la rîndul lor, prin cîte un tub de comunicație, cu partea superioară și inferioară a cuvei. Țevile se așază pe cîteva rînduri și, pentru a li se mări suprafața de răcire corespunzătoare aceluiași conținut de ulei, li se dă uneori o secțiune elipsoidală. Distanța dintre axele a două țevi vecine se ia de cca. 75 mm.

d. **Transformatoare cu răcire forțată**

La transformatoarele de mare putere, cantitatea de căldură degajată în unitatea de timp este atît de mare încît uleiul nu mai are timp să transmită pereților cuvei și radiatoarelor, la răcirea naturală, toată căldura degajată. Se activează în acest caz răcirea transformatorului prin ventilația forțată a radiatoarelor.

● **Ventilația forțată a radiatoarelor.** În acest sistem de răcire, unul sau mai multe ventilatoare, așezate direct pe transformator sau în apro-

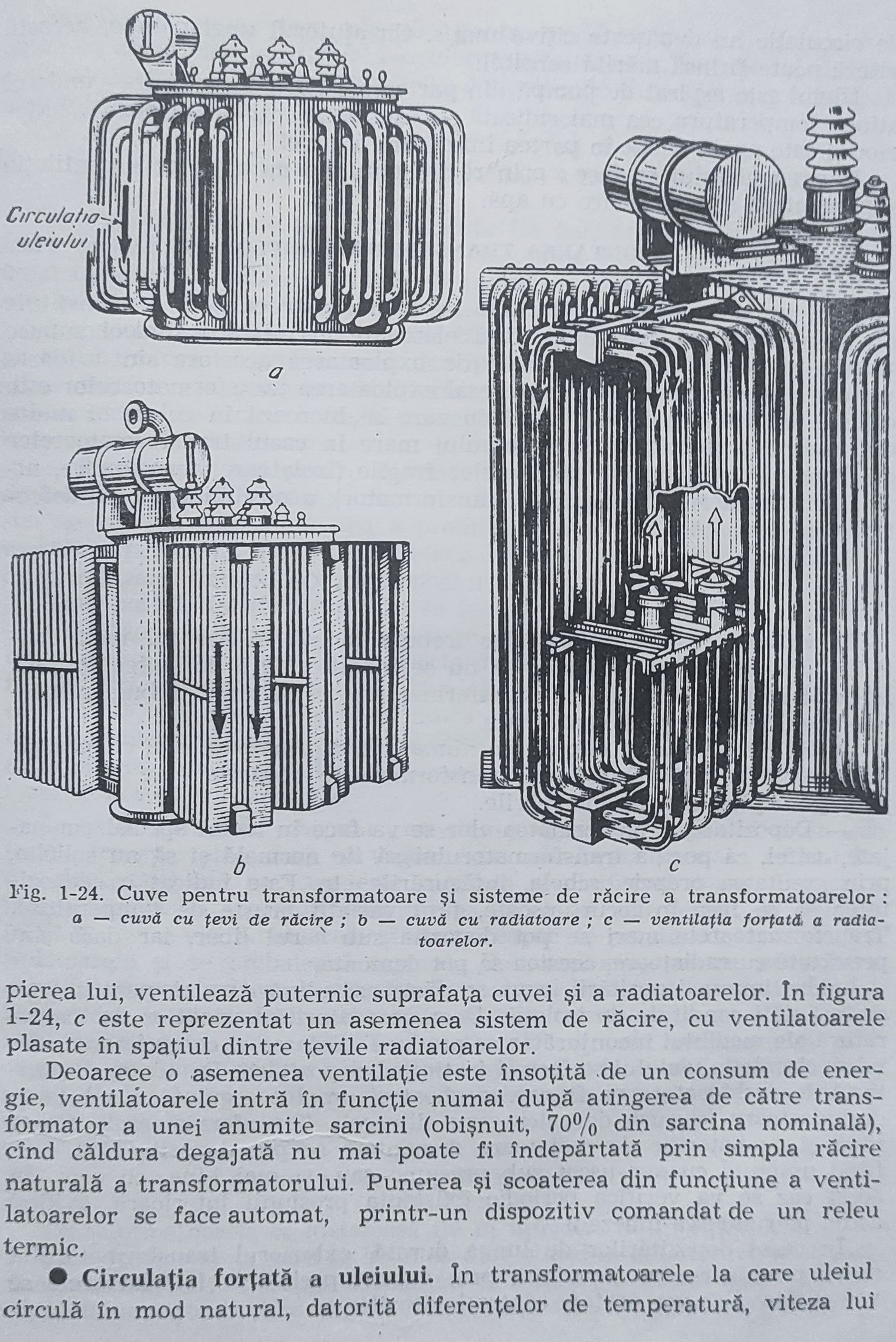


Fig. 1-24. Cuve pentru transformatoare și sisteme de răcire a transformatoarelor : *a — cuvă cu țevi de răcire ; b — cuvă cu radiatoare ; c — ventilația forțată a radiatoarelor.*

pierea lui, ventilează puternic suprafața cuvei și a radiatoarelor. În figura 1-24, *c* este reprezentat un asemenea sistem de răcire, cu ventilatoarele plasate în spațiul dintre țevile radiatoarelor.

Deoarece o asemenea ventilație este însoțită de un consum de energie, ventilatoarele intră în funcție numai după atingerea de către transformator a unei anumite sarcini (obișnuit, 70% din sarcina nominală), cînd căldura degajată nu mai poate fi îndepărtată prin simpla răcire naturală a transformatorului. Punerea și scoaterea din funcțiune a ventilatoarelor se face automat, printr-un dispozitiv comandat de un releu termic.

● **Circulația forțată a uleiului.** În transformatoarele la care uleiul circulă în mod natural, datorită diferențelor de temperatură, viteza lui

de circulație nu depășește cîțiva mm/s. Cu ajutorul unei pompe, această viteză poate fi însă mărită sensibil.

Uleiul este aspirat de pompă din partea superioară a cuvei — unde el atinge temperatura cea mai ridicată — este răcit într-un dispozitiv exterior și este apoi refulat în partea inferioară a cuvei.

Răcirea uleiului se face : prin răcire naturală cu aer ; prin ventilație suplimentară și prin răcire cu apă.

C. MONTAREA TRANSFORMATOARELOR

Deși transformatoarele electrice — prin construcția lor — constituie un ansamblu bine consolidat, fără elemente în mișcare și deci supuse uzurii, totuși problemele ridicate de exploatarea acestora sînt foarte variate și greu de rezolvat. În general exploatarea transformatoarelor este dificilă datorită tensiunilor mari cu care se lucrează în cele mai multe din cazuri, a greutății și a volumului mare în cazul transformatoarelor de mare putere, datorită elementelor fragile (izolatoare, termometre, nivele etc.) și alterabile (uleiul de transformator), a posibilităților de defectare etc.

1. DEPOZITAREA TRANSFORMATOARELOR

Depozitarea transformatoarelor trebuie făcută în așa fel încît calitățile lor electrice și mecanice să nu se modifice față de starea inițială. În acest scop, la depozitarea transformatoarelor electrice trebuie respectate regulile expuse în continuare.

— Se introduc spre depozitare numai transformatoare noi, cu probele de recepție satisfăcătoare, sau transformatoare reparate care au corespuns pe deplin la toate încercările.

— Depozitarea transformatoarelor se va face în locuri special amenajate, astfel, ca poziția transformatorului să fie normală și să nu solicite, prin greutatea proprie, schela, înfășurările etc. Este indicat ca depozitarea să se facă în locuri uscate, fără variații bruște de temperatură. Transformatoarele mari se pot depozita sub cerul liber, iar dacă sînt prevăzute cu radiatoare, acestea se pot demonta.

— În timpul depozitării, cuva se păstrează plină cu ulei, pentru a nu se înrăutăți condițiile de izolație. Deoarece datorită variațiilor de temperatură ale mediului înconjurător se produce dilatarea și comprimarea uleiului, circulația uleiului se face și în timpul depozitării. De aceea, dispozitivul de deshidratare va fi supravegheat și umplut regulat cu substanțe deshidratoare (clorură de calciu sau silicagel). Transformatoarele foarte mari și cu bateriile de radiatoare demontate se pot depozita fără ulei, fiind umplute cu aer uscat sub presiune sau, și mai bine, cu azot. În acest caz se va verifica periodic existența presiunii interioare, evitînd astfel pătrunderea umezelii.

În cazul depozitărilor de lungă durată, exteriorul transformatorului se va proteja contra coroziunii prin vopsiri periodice și izolatoarele se vor curăța și se vor proteja contra loviturilor.

— Periodic se vor face măsurări pentru verificarea rezistenței de izolație ; în cazul cînd se constată scăderea acesteia sub limitele admise, se determină cauza și se iau măsurile cuvenite de remediere (schimbarea uleiului, uscare etc.).

2. TRANSPORTAREA ȘI MANIPULAREA TRANSFORMATOARELOR

Transformatorul se poate transporta fie gol, dacă distanța este prea mare, și în acest caz transformatorul se umple fie cu aer sub presiune, uscat în prealabil (dispozitivul de deshidratare al transformatorului fiind scos și țeava — bușonată), fie cu gaz inert sub presiune.

Transportul se va face preferabil fără termometre indicatoare de temperatură, în caz că acestea sînt de tipul cu mercur în sticlă, pentru a nu le expune eventualelor deteriorări. Izolatoarele se vor menaja prin îmbrăcăminte de lemn căptușită cu carton ondulat pentru a nu le expune la lovire și deci deteriorare ;

— fie plin cu ulei pentru distanțe mici, ca de exemplu în cuprinsul aceleeași localități. În acest caz, în afară de precauțiile prevăzute mai sus, se vor lua măsuri pentru a preîntîmpina pătrunderea umidității în ulei. Este preferabil a se bușona țeava sau a se face ermetic aparatul de deshidratare.

Transportul transformatorului se face cu autocamionul sau cu trenul.

Unitățile mici (pînă la 100 kVA) se pot transporta cu camionul. Unitățile mari nu se vor putea transporta decît cu un vehicul special, prevăzut cu roți pneumatice (sau cu bandaje de cauciuc) și cu o platformă deplasabilă, pentru a se putea ridica sau lăsa transformatorul fără a necesita aplecarea sa. În cazul coborîrii la adîncime (cazul posturilor de transformare sau a stațiilor subterane) sau ridicării la o înălțime mai mare se pot utiliza macarale.

În cazul unităților mai mari, care nu s-ar înscrie în gabaritul de cale ferată, transportul se face cu vagoane de cale ferată speciale, constituite din două boghiuri pe care este montată o platformă joasă. Pentru a înlesni înscrierea transformatorului în gabaritul căii ferate, se demontează de pe cuvă radiatoarele și de pe capac se scoate conservatorul și izolatoarele și se ambalează separat. De asemenea, pentru micșorarea greutății, uneori se transportă transformatorul fără ulei, acesta urmînd a fi introdus la locul de montare. Fie că sînt transportate cu ulei, fie că sînt transportate goale, găurile izolatoarelor și ale radiatoarelor sînt etanșate cu flanșe oarbe. În cazul transportului fără ulei, această etanșare trebuie să fie perfectă, deoarece bobinajele pot absorbi umiditatea din aer.

3. INSTALAREA TRANSFORMATOARELOR

Transformatoarele se instalează fie în interior, fie în exterior.

Transformatoarele mari se instalează de obicei în exterior, chiar atunci cînd instalația de distribuție este interioară. În felul acesta se face o economie în construcții și se asigură o mai bună răcire a transformatoarelor.

În cazul cînd mediul exterior conține multe impurități, este necesar să se recurgă la instalarea interioară a transformatoarelor.

Transformatoarele coborîtoare de puteri relativ mici se instalează de multe ori în clădiri împreună cu instalația de distribuție, iar uneori se instalează în exterior, pe stîlpi de lemn sau beton.

a. Instalarea transformatoarelor în exterior

● **În centrale și stații,** transformatoarele se așază pe cît posibil lîngă clădire. Ele se instalează pe fundații și grinzi de beton, prevăzute cu șine, pe care transformatorul se poate deplasa. Sub transformator se execută colectoare de ulei sub forma unor gropi umplute cu pietriș, care să poată reține cel puțin 20% din cantitatea de ulei conținută în transformatoare, în cazul spargerii cuvei.

● **Pentru alimentarea rețelelor rurale de joasă tensiune** se utilizează posturi pe stîlpi, la care transformatorul este instalat împreună cu instalația de distribuție pe doi stîlpi de lemn, de beton armat sau metalici.

Transformatorul este alimentat de la linia aeriană printr-o derivație prevăzută cu un separator tripolar și cu siguranțe fuzibile, instalate în partea superioară a stîlpilor. Comanda separatorului se face de la nivelul solului, printr-un dispozitiv cu pîrghii. Circuitele de joasă tensiune sînt aduse în tuburi protectoare pînă la tabloul de distribuție de la baza stîlpilor.

b. Instalarea transformatoarelor în interior

În cazul instalării în interior a transformatoarelor mari din centrale și stații este necesar să se prevadă camere separate pentru fiecare transformator. Camerele pot fi integrate în instalația de distribuție. În aceste camere se permite instalarea separată a transformatoarelor trifazate cu o cantitate de ulei pînă la 600 kg, precum și instalarea împreună, indiferent de cantitatea de ulei, a transformatoarelor monofazate, care constituie un grup trifazat.

Camerele transformatoarelor se execută cu pardoseală, pereți și plafon neinflamabil și trebuie să dispună de o ușă separată, care dă în exterior sau eventual într-o altă încăpere neinflamabilă. În camerele în care se instalează transformatoare cu o cantitate de ulei peste 600 kg se execută bazine sau praguri care permit reținerea întregii cantități de ulei, în caz de spargere a cuvei.

Transformatorul se instalează în mijlocul camerei, astfel încît distanța pînă la pereți să fie de 0,3—0,6 m, iar distanța pînă la ușă să fie de 0,6—1 m.

Camerele transformatoarelor trebuie să fie prevăzute cu un sistem de ventilație, separat de celelalte sisteme de ventilație ale instalației. Aerul intră prin orificii situate în partea inferioară a ușii, pereților, sau fundației și iese prin orificii situate în partea superioară a ușii și pereților. Orificiile inferioare sînt acoperite cu plase de sîrmă pentru a evita pă-

trunderea animalelor (șoareci), iar orificiile superioare sînt prevăzute cu jaluzele metalice, care permit reglarea debitului de aer.

Într-o cameră bine calculată, diferența dintre temperatura aerului care intră pe la partea de jos și a celui care iese pe sus, nu trebuie să fie mai mare de 15°C.

În cazul stațiilor închise, unde posibilitățile de ventilație naturală nu sînt suficiente (spre exemplu, stații subterane) se recurge la o ventilație forțată, realizată cu ventilatoare.

D. EXPLOATAREA ȘI ÎNTREȚINEREA TRANSFORMATOARELOR DE PUTERE

1. CONECTAREA ȘI DECONECTAREA TRANSFORMATOARELOR

Racordarea transformatorului la rețea se face prin intermediul unui separator și întreruptor automat.

Înainte de a se pune transformatorul sub tensiune, se vor lua toate măsurile de securitate, îndepărtînd personalul de lîngă celulele de înaltă și joasă tensiune, precum și de lîngă transformator sau din camera transformatorului, făcîndu-i totodată atenți că în acele locuri se află tensiune.

● **Ordinea manevrelor.** La executarea manevrelor de punere sau scoatere din funcțiune a transformatoarelor, trebuie să țină seamă de următoarele :

— *punerea sub tensiune a unui transformator se va face totdeauna prin închiderea întîi a separatorului și apoi a întreruptorului ;*

— *scoaterea de sub tensiune a unui transformator se va face totdeauna prin deschiderea întreruptorului după care se vor trage separatoarele ;*

— *în cazul transformatoarelor care au la partea de joasă tensiune maximum 380 V între faze, se poate pune transformatorul sub tensiune pe partea de joasă tensiune cu siguranțe cu mîner ;*

— *în cazul transformatoarelor care nu au întreruptor în primar, acestea se pot pune sau scoate de sub tensiune prin închiderea sau deschiderea separartoarelor din primar ,avînd scoase siguranțele sau întreruptorul din secundar*, cu condiția ca :

— la o tensiune de maximum 10 kV transformatorul să aibă o putere mai mică de 320 kVA ;
— la o tensiune de maximum 20 kV transformatorul să aibă o putere mai mică de 560 kVA ;
— la 35 kV transformatorul să aibă o putere mai mică de 1 000 kVA ;
— la 60 kV transformatorul să aibă o putere mai mică de 1 600 kVA;
— la 110 kV transformatorul să aibă o putere mai mică de 3 200 kVA.

În cazul transformatoarelor care au fost supuse unor reparații sau care nu au funcționat mai mult de o lună, înainte de conectare trebuie făcută o probă cu tensiune.

● **Proba cu tensiune** se face pentru transformatorul care funcționează în paralel cu alte transformatoare, alimentîndu-l prin secundar, întreruptorul din circuitul primar fiind deschis. Transformatoarele care funcționează singure vor fi alimentate prin primar. În ambele cazuri, valoarea

siguranțelor se reduce pînă la valoarea corespunzătoare curentului de mers în gol.

Înainte de conectare sau de proba cu tensiune, trebuie verificate următoarele :

— dacă cuva transformatorului nu are scurgeri de ulei și dacă este legată la priza de pămînt ;

— dacă comutatorul de prize funcționează corect în toate pozițiile ;

— dacă releul Buchholz, în cazul cînd transformatorul este prevăzut cu un asemenea dispozitiv de protecție, funcționează corect ;

— dacă releul Buchholz este plin complet cu ulei ; controlul se face deșurubînd capacul orificiului superior al releului și evacuînd aerul strîns înăuntru sau prin robinetul releului (dacă există) ;

— dacă izolatoarele de trecere cu ulei (la transformatoarele care au astfel de izolatoare) sînt pline cu ulei, controlul se face desfăcînd șurubul din capacul izolatoarelor pînă cînd curge ulei ;

— dacă nivelul uleiului din conservatorul de ulei este în limitele însemnate pe sticla de nivel pentru temperatura din acel moment ;

— dacă gura de expandare a gazelor are membrana în bună stare (în caz că transformatorul are asemenea dispozitiv) ;

— dacă rezistența de izolație (controlată cu inductorul) atît a înfășurărilor cît și a cablurilor are valoarea admisibilă ;

— dacă tensiunea de străpungere a uleiului corespunde ;

— dacă comutatorul de prize se află în poziție corectă ;

— dacă toate instalațiile ca : termometre, filtru pentru deshidratarea aerului, circuitele de legătură cu camera de comandă sau tabloul de distribuție etc. sînt în stare de funcționare ;

— dacă legăturile făcute între bornele transformatorului și bare, separatoare sau întreruptoare sînt suficient de strînse ;

— dacă întreruptorul automat din primar și secundar (dacă este montat) funcționează normal ; controlul se face fără tensiune, prin cîteva închideri și deschideri, precum și cu o declanșare prin relee ;

— dacă sînt îndepărtate legăturile temporare de punere la pămînt, precum și sculele, cîrpele, scările etc., atît din celule, cît și de pe transformator ;

— dacă sînt montate toate îngrădirile de protecție.

În cazul cînd se constată deficiențe, ca de exemplu scăderea rezistenței de izolație scurgeri ușoare de ulei etc., acestea trebuie analizate și numai în cazul cînd se consideră că ele nu pot produce accidente în funcționare se poate trece la conectarea transformatorului. Dacă este posibilă remedierea deficiențelor constatate înainte de conectare este bine ca acestea să fie făcute. În orice caz, după punerea în funcțiune a transformatorului trebuie luate măsuri de remediere pentru a asigura funcționarea normală.

La punerea în funcțiune a unui transformator care are răcire forțată, se va porni pompa de ulei, de apă sau ventilatorul și apoi se va conecta transformatorul.

● **Scoaterea din funcțiune** a unui transformator se face, în general întrerupîndu-l în secundar și apoi în primar.

Manevra se face întrerupînd întîi sarcina prin întreruptoare și apoi scoțînd separatoarele.

Transformatoarele care au la partea de joasă tensiune bare sau siguranțe cu mîner și la partea de înaltă tensiune — întreruptor, se scot din funcțiune întrerupînd întîi partea cu întreruptor și apoi partea cu siguranțe.

Este interzisă scoaterea de sub sarcină a unui transformator prin separatoare.

Se permite întreruperea curentului de mers în gol prin separatoarele din primar (după ce s-a deconectat în secundar) în cazurile indicate la conectarea prin separatoare și numai dacă nu există întreruptor în primar.

Ori de cîte ori un transformator este deconectat de la bare va fi șters de murdărie, curățindu-i-se izolatoarele și cuva (după ce s-au luat în prealabil toate măsurile de protecția muncii).

În caz că transformatorul a fost întrerupt pentru revizie, se scoate din funcțiune și alimentarea circuitelor releului de gaze, precum și a celorlalte semnalizări.

2. EXPLOATAREA TRANSFORMATOARELOR ÎN CONDIȚII NORMALE

Transformatoarele electrice funcționează în condiții normale atunci cînd parametrii circuitului primar și ai celui secundar corespund mărimilor nominale ale transformatorului.

Practica arată însă că în exploatarea transformatoarelor intervin suprasarcini care pot periclita buna funcționare. Aceste suprasarcini sînt însă admisibile și se pot considera ca o funcționare normală, atunci cînd nu depășesc anumite limite.

● **Suprasarcini de curent** *(creșterea curentului peste valoarea nominală).* Se știe că ceea ce limitează puterea, adică curenții admisibili de încărcare a transformatoarelor, este temperatura admisibilă pentru izolația folosită. Practica exploatării și a cercetărilor experimentale arată că atunci cînd transformatorul lucrează la temperaturi ridicate, durata de serviciu poate să se reducă considerabil, din cauza îmbătrînirii izolației.

Încălzirea admisiblă în timpul exploatării se controlează după temperatura straturilor superioare de ulei, care nu trebuie să crească față de temperatura ambiantă cu mai mult de 60°C.

Suprasarcinile admisibile pot fi :

— suprasarcini normale ;

— suprasarcini accidentale, din lipsă de putere în rețea (defectarea altor trasformatoare și lipsa transformatoarelor de rezervă).

Suprasarcinile se stabilesc în funcție de încărcarea transformatorului și de temperatura mediului ambiant.

Dacă transformatorul a fost construit pentru a funcționa cu puterea sa nominală la o temperatură a mediului ambiant θ_0, atunci, la funcționarea într-un mediu ambiant θ_{med} puterea sa nominală se modifică și poate fi determinată cu relația empirică :

$$P_n = P_{n0}\left(1 + \frac{\theta_0 - \theta_{med}}{100}\right),$$

în care :

P_{n0} este puterea nominală a transformatorului, construit pentru a funcționa într-un mediu ambiant cu temperatura θ^0 ;

P_n — puterea nominală a transformatorului în cazul cînd temperatura mediului ambiant în care funcționează este θ_{med}.

Din relația de mai sus rezultă că atunci cînd temperatura mediului ambiant θ_{med} este mai mică decît temperatura θ_0 puterea nominală a transformatorului crește, și invers.

Suprasarcinile normale se determină pe baza graficului încărcării zilnice. Din cercetarea acestui grafic se poate vedea dacă suprasarcinile suportate de transformator sînt în limitele admisibile. În cazul că sînt sub acestea, înseamnă că transformatorul mai poate fi încărcat, iar în caz că sînt mai mari decît cele admisibile, transformatorul se va descărca, trecînd sarcina pe alte transformatoare.

Un criteriu de interpretare a încărcării este coeficientul de încărcare al transformatorului pe un interval de 24 ore, prin aceasta înțelegîndu-se raportul dintre curentul mediu și curentul maxim absorbit de transformator în 24 de ore.

S-a constatat că în condițiile reale de exploatare, la majoritatea transformatoarelor sarcina nu rămîne niciodată constantă ; ea variază atît în curs de 24 de ore, cît și în cursul anului.

Dacă în perioada de vară (iunie-august) sarcina maximă este mai mică decît cea nominală, atunci în cursul lunilor de iarnă (decembrie-martie) sarcina maximă poate fi mărită față de cea nominală, însă cel mult cu 15%.

Se dovedește că admițînd aceste suprasarcini considerate normale, uzura izolației transformatorului rămîne totuși mai mică decît uzura normală care are loc în cazul cînd transformatorul funcționează în permanență la puterea nominală.

În caz de scurtcircuite, conform STAS 4 194-53, transformatoarele pot suporta, fără deteriorări sau deformații permanente, scurtcircuite la bornele secundare sub valoarea nominală a tensiunii primare, care produc curenți ce nu depășesc cu mai mult de 25 de ori valoarea curentului nominal. Durata, în secunde, a curentului de scurtcircuit poate fi de cel mult $\frac{900}{K^2}$, unde K este raportul între valoarea curentului de scurtcircuit și a curentului nominal.

● **Suprasarcini de tensiune.** Supraîncărcarea transformatoarelor poate fi produsă și prin creșterile de tensiune peste valoarea nominală. Creșterea tensiunii mărește pierderile în oțelul miezului, și saturează miezul de oțel. Normele admit ca tensiunea aplicată să fie maximum cu 5% peste tensiunea primară indicată pe plăcuța indicatoare, cu condiția ca tensiunea și curentul la bornele secundare să nu depășească valorile normale.

3. REVIZII PERIODICE

Pentru asigurarea unei funcționări normale, trebuie sesizate micile deranjamente și evitate defectările grave după punerea în funcțiune. De aceea transformatoarele necesită o supraveghere curentă și controale

periodice. *Supravegherea curentă* se face la intervale scurte de timp și se referă în general la transformatoarele instalate în spații cu personal de deservire. *Controalele periodice* se fac la toate categoriile de transformatoare.

În cadrul acestor operații de supraveghere se urmăresc anumiți parametri ai transformatorului precum și starea acestuia.

● Astfel, **la supravegherea curentă** se urmărește :

— curentul primar și secundar ;

— tensiunea primară și secundară ;

— temperatura uleiului în partea superioară a cuvei ;

— nivelul de ulei în conservator ;

— releele de protecție, inclusiv releul Buchholz ;

— funcționarea instalațiilor anexe, inclusiv legăturile la bare în primar și în secundar.

● **La controlul periodic** se verifică :

— starea cuvei, în special verificîndu-se dacă nu are pierderi de ulei ;

— nivelul și culoarea uleiului din conservator și din izolatoarele de trecere cu ulei (dacă construcția lor permite acest lucru) ;

— dacă în conservatorul de ulei există murdărie sau apă, (constatată la sticla de nivel). În caz afirmativ, evacuarea apei sau a murdăriei se face prin robinetul de golire a conservatorului (dacă există). În timpul operației, dacă transformatorul este în funcțiune, se întrerupe circuitul de declanșare a releului Buchholz, pînă la terminarea golirii și umplerii cu ulei a conservatorului ;

— temperatura uleiului din transformator ;

— starea izolatoarelor (lipsa urmelor de conturnări, murdărie, crăpături etc.) ;

— integritatea membranei tubului de expandare a gazelor, în caz că are un asemenea dispozitiv ;

— starea aparatului pentru deshidratat aerul ;

— starea legăturii cu priza de pămînt a cuvei transformatorului, precum și a instalațiilor anexe ;

— caracterul zgomotului (tonului) transformatorului (dacă acesta nu s-a amplificat sau nu s-a modificat).

Dacă se constată o amplificare a zgomotului cînd transformatorul este în sarcină, se întrerupe sarcina lăsîndu-l sub tensiune. Dacă zgomotul anormal încetează, înseamnă că strîngerea bobinelor este slăbită, iar dacă zgomotul anormal persistă și în gol, înseamnă că miezul de fier nu mai este bine strîns. În ambele cazuri transformatorul trebuie decuvat și controlat.

— funcționarea bună a sistemului de răcire ;

— starea barelor și a cablurilor de legătură ;

— la transformatoarele de interior — starea ușilor, geamurilor, zăvoarelor, a acoperișului (să nu curgă), starea iluminării, starea ventilației, precum și temperatura aerului ;

— la transformatoarele de exterior, distanța între părțile sub tensiune și crengile arborilor ce cresc în jurul transformatoarelor (în cazul că distanța este sub limita indicată de prescripții, crengile ce reprezintă un pericol trebuie tăiate imediat).

La transformatoarele cu circulaţia forţată a uleiului prin răcitor se observă în plus următoarele :

— presiunea uleiului în circuitul de răcire să fie mai mare decît a apei, de obicei 1—1,5 at ;

— apa din instalaţia de răcire să nu conţină urme de ulei, care indică neetanşeitatea răcitorului ;

— lagărele motoarelor electrice care acţionează pompele să fie în bună stare ;

— starea de murdărie sau depunerile de piatră de pe serpentine.

La transformatoarele răcite cu apă prin circulaţia forţată a apei prin serpentinele din interiorul cuvei, se mai urmăreşte :

— presiunea apei şi menţinerea ei la valoarea necesară, fără însă să depăşească 2 at ;

— instalaţia de răcire să nu îngheţe în timpul iernii ;

— curăţirea periodică prin mijloace mecanice sau chimice a serpentinelor, în funcţie de calitatea apei de răcire (se face cu ocazia reviziei).

La transformatoarele ce au releu de gaze se face o verificare periodică a funcţionării acestuia.

Verificarea se face fie prin scoaterea uleiului din transformator, fie prin introducerea de aer prin robinetul de jos cu ajutorul unei pompe cu ventil de întoarcere.

Verificarea se face cu transformatorul scos din funcţiune, cu separatoarele scoase dar cu întreruptoarele închise.

Se urmăreşte buna funcţionare a semnalizării, a semnalizării lipsei de ulei şi a declanşării.

Aceeaşi verificare se face după montarea de fiecare dată a transformatorului.

În afara celor arătate mai sus, în cadrul supravegherii curente şi al controalelor periodice se observă toate anexele care ar putea produce defectări.

4. ÎNTREŢINEREA TRANSFORMATOARELOR

Pentru menţinerea transformatoarelor în stare normală de funcţionare un timp cît mai îndelungat, se impune o întreţinere sistematică prin revizia şi repararea lui la intervale regulate.

La un transformator, în afara defecţiunilor accidentale se pot produce defecţiuni care nu se manifestă în mod vizibil, însă care se pot detecta prin anumite mijloace. Astfel, prin compararea rezultatelor analizei uleiului din transformator, se pot trage anumite concluzii asupra stării transformatorului. Acest mijloc de stabilire a stării transformatorului nu este însă suficient şi de aceea este necesar ca după anumite perioade de timp transformatorul să fie scos din funcţiune, decuvat şi supus reviziilor[1].

---

[1] Termenele de revizuire se stabilesc în funcţie de condiţiile de funcţionare a transformatorului.

În funcție de volumul lucrărilor executate, se deosebesc două feluri de reparații :

— *reparații capitale*, care necesită decuvarea transformatorului ;

— *reparații curente și mijlocii*, la care transformatorul nu trebuie să fie decuvat.

Evident, în ambele cazuri transformatorul este scos în prealabil din funcțiune.

Termenele la care se fac reparațiile capitale și curente se stabilesc de la caz la caz, în funcție de solicitarea transformatoarelor în cursul exploatării, de puterea și tensiunile lor etc.

Astfel, pentru reparațiile capitale termenele variază între 5 și 12 ani, iar pentru reparațiile curente între 6 luni și 1 an. Pentru transformatoarele supuse frecvent curenților de scurtcircuit, supratensiunilor etc., și care nu sînt dotate cu o protecție corespunzătoare, aceste termene se scurtează considerabil.

● **Lucrările de reparație curentă** a transformatorului cuprind următoarele operații :

— scoaterea din funcțiune a transformatorului ;

— examinarea exterioară și înlăturarea defectelor descoperite, care pot fi înlăturate pe loc ;

— evacuarea apei și a noroiului din conservator, completarea — în caz de necesitate — a uleiului în transformator, verificarea indicatorului de ulei ;

— verificarea garniturilor și a robinetului de golire ;

— examinarea și curățirea dispozitivelor de răcire ;

— executarea măsurărilor și încercărilor necesare ;

— repararea, în cazul transformatoarelor cu reglajul tensiunii sub sarcină, a dispozitivelor de comutare.

● **La reparația capitală** a transformatorului se execută următoarele lucrări :

— scoaterea din funcțiune a transformatorului ;

— deschiderea capacului transformatorului, ridicarea, scoaterea și examinarea miezului ;

— reparația părții decuvabile (a miezului, înfășurărilor, comutatoarelor și derivațiilor) ;

— reparația capacului, conservatorului, țevii de siguranță, radiatoarelor, robinetelor, izolatoarelor ;

— reparația dispozitivelor de răcire și de purificare a uleiului ;

— curățarea și vopsirea cuvei ;

— verificarea aparatelor de măsurat și control, precum și a dispozitivelor de semnalizare și protecție ;

— purificarea sau înlocuirea uleiului ;

— uscarea izolației (în caz de necesitate) ;

— montarea transformatorului ;

— executarea măsurărilor și încercărilor.

O dată cu reparația capitală a transformatorului se repară și se verifică și echipamentul auxiliar și protecție, semnalizare etc.

Pentru a evita necesitatea unei operații de uscare a transformatorului, revizia și reparația miezului se fac astfel încît partea decuvabilă să fie ferită de ploaie, zăpadă și murdărie și să fie ținută afară din ulei pe timp cît mai scurt. În cazul întreruperilor de lungă durată pricinuite de lucrările de reparație, partea decuvabilă trebuie introdusă, pe toată durata întreruperii, într-o cuvă cu ulei uscat și purificat.

Umplerea transformatorului cu ulei se face prin robinetul de jos și numai cu ulei nou curățat, verificat din punct de vedere calitativ și declarat corespunzător.

5. USCAREA TRANSFORMATORULUI

Izolația transformatoarelor, în contact cu aerul și în special cu aerul umed, absoarbe umezeală și își pierde în mare parte proprietățile izolante. În astfel de cazuri se impune refacerea proprietăților izolante ale izolației transformatorului, lucru care se poate obține prin operația de uscare.

Uscarea transformatoarelor se poate face în cuptor cu vid, în cameră specială fără vid, și în cuvă proprie.

● **Uscarea transformatoarelor în cuva proprie** este considerată cea mai bună metodă de exploatare. Partea decuvabilă se usucă în cuva proprie cu radiatoarele scoase, fără ulei, utilizînd vidul maxim pe care îl admite cuva (300 — 400 torr). Înainte de uscare, se îndepărtează resturile de ulei din cuvă, aceasta ștergîndu-se cu grijă. Miezul se coboară în cuvă și se închide ermetic cu capacul. Pentru controlul temperaturii, pe miezul transformatorului se așază termocuple sau termometre cu rezistență.

Încălzirea transformatorului se face prin producerea de pierderi în fierul cuvei. Pentru aceasta, transformatorul se acoperă cu un izolament termic, peste care se execută o înfășurare magnetizantă formată dintr-un conductor izolat, alimentat cu curent alternativ. Pentru a obține o repartiție mai uniformă a temperaturii în interiorul cuvei, înfășurarea magnetizantă se așază la 40 ... 60% din înălțimea cuvei (de jos), spirele fiind mai dese în partea de jos a cuvei decît în partea de mijloc.

Cînd temperatura în înfășurările transformatorului atinge 95... 100°C se pornește pompa de vid și în cuvă se creează un vid de 150 torr, care după aceea este sporit treptat, pînă la valoarea limită admisibilă pentru construcția cuvei.

Uscarea se face la o temperatură a înfășurărilor transformatorului de cel mult 95... 100°C și la o temperatură a cuvei de cel mult 115... 120°C. Temperatura se reglează conectînd și deconectînd înfășurarea magnetizată și îndepărtînd parțial izolația termică de pe partea superioară a cuvei și de pe capacul transformatorului.

La terminarea uscării, temperatura în interiorul cuvei se reduce pînă la 80°C și în transformator se introduce ulei uscat, curat, sub vid. După ce transformatorul s-a răcit pînă la temperatura aerului înconjurător, miezul se scoate din cuvă pentru a fi revizuit și strîns.

6. ÎNTREȚINEREA ULEIULUI DE TRANSFORMATOR

În cursul exploatării, uleiul de transformator se poate altera. Înrăutățirea sub anumite limite a proprietăților electrice ale uleiului duce în mod inevitabil la avarii. De aceea, este de o mare importanță o corectă întreținere a uleiului de transformator.

Încălzirea uleiului peste limita admisibilă, contactul îndelungat cu aerul, pătrunderea în ulei a umezelii, a impurităților etc., duc la o pierdere rapidă a proprietăților uleiului. Chiar și în cazul unei exploatări normale, uleiul de transformator își pierde treptat proprietățile, devenind inutilizabil ; acest proces este denumit *îmbătrînirea uleiului.* Îmbătrînirea uleiului se manifestă prin anumite particularități exterioare : uleiul se închide la culoare și din galben deschis devine brun și tulbure, viscozitatea se mărește ; cifra de aprindere, aciditatea și cenușa cresc ; proprietățile izolante se înrăutățesc brusc ; mirosul uleiului devine acru, iar cîteodată miroase a ars ; în ulei apar sedimente care se depun pe înfășurări și pe circuitul magnetic sub forma unui nămol cafeniu, care împiedică răcirea ; de asemenea, pe fundul rezervorului, se depun sedimente sub forma unui nămol lipicios ; în ulei crește conținutul de apă și se formează acizi care distrug izolația transformatorului.

Curățirea uleiului se poate face printr-unul din următoarele procedee : decantare, centrifugare, filtrare.

● **Curățirea prin decantare** se face lăsînd uleiul să stea liniștit un timp mai îndelungat, pînă cînd apa și impuritățile se depun pe fundul vasului. Metoda este simplă, ieftină, însă necesită timp îndelungat, spații mari și nu asigură curățarea perfectă a uleiului.

● **Centrifugarea** se poate face sub vid. Sub acțiunea forței centrifuge, apa și impuritățile sînt separate de ulei. Mașinile cu ajutorul cărora se face această operație se numesc *centrifuge.*

Operația de centrifugare se execută la o temperatură de 45—50°C. Centrifugarea sub vid se face pentru a feri uleiul de oxidare.

● **Filtrarea uleiului** se poate face prin filtre de carton, hîrtie, pînză, pămînt decolorant, cărbune sau silicagel. Aparatul în care se execută filtrarea se numește *filtru-presă.*

Curățarea perfectă a uleiului se obține în instalații cuprinzînd un filtru-presă, o centrifugă sub vid și o instalație de uscare sub vid, uscarea se face prin pulverizarea foarte fină a uleiului într-o cameră cu vid.

În cazul scăderii nivelului de ulei, se completează cantitatea necesară. Trebuie avut în vedere că se pot amesteca numai uleiuri cu aceeași greutate specifică, temperatură de congelare, viscozitate și grad de rafinare.

E. TRANSFORMATOARE SPECIALE

În afară de construcțiile descrise în capitolele anterioare, care se utilizează la transformatoarele de forță, se cunosc și alte construcții de transformatoare speciale. Acestea sînt transformatoarele de măsură, pentru sudură, pentru redresoare, autotransformatoarele etc.

Construcţia şi modul de utilizare în schemele electrice a transformatoarelor de măsură au fost prezentate în vol. I la capitolul de „Măsuri electrice“ ; de aceea ele nu vor mai fi studiate în acest capitol.

1. TRANSFORMATOARE DE SUDURĂ

Transformatoarele de sudură se împart principial în două tipuri constructive, în funcţie de procedeele de sudură folosite, şi anume : *transformatoare pentru sudura electrică cu arc şi transformatoare pentru sudura electrică prin contact.*

● **Transformatoarele pentru sudura electrică prin arc** se caracterizează printr-o tensiune secundară de mers în gol destul de mare (60—85 V) pentru a putea asigura aprinderea şi întreţinerea în bune condiţiuni a arcului electric ; această tensiune scade la 20—35 V în timpul lucrului. Transformatorul trebuie să suporte un regim intermitent de lucru, cu treceri bruşte ale sarcinii de la gol la scurtcircuit şi invers şi trebuie să asigure o valoare constantă a curentului atunci cînd variază impedanţa secundară a transformatorului datorită variaţiei lungimii arcului. Caracteristica $U_2=f(I_2)$ a transformatorului de sudură cu arc este dată în figura 1-25, deoarece curentul de scurtcircuit nu trebuie să depăşească dublul intensităţii nominale, reactanţa de scăpări trebuie să fie mărită artificial. Caracteristicile din figură sînt date pentru 5 valori ale reactanţei de scăpări.

Mărirea reactanţei de scăpări se realizează prin mai multe metode.

— **Transformatorul cu reactanţă proprie de scăpări mărită prin construcţie** (figura 1-26, *a*) are înfăşurările primare şi secundare aşezate pe aceeaşi coloană, cele două coloane fiind legate cu un şunt magnetic, din tole, deplasabil. Transformatorul este economic şi utilizat pe scară largă, deoarece reactanţa transformatorului poate fi variată (în vederea menţinerii constante a curentului de sudură) prin deplasarea şuntului cu ajutorul unui şurub perpendicular pe planul figurii.

— **Transformatorul cu bobină de reactanţă auxiliară separată** (fig. 1-26, *b*) este de asemenea foarte utilizat, în special în cazul instalaţiilor de sudură cu mai multe posturi alimentate de la acelaşi transformator. Reglajul curentului de sudură se obţine prin variaţia întrefierului circuitului magnetic.

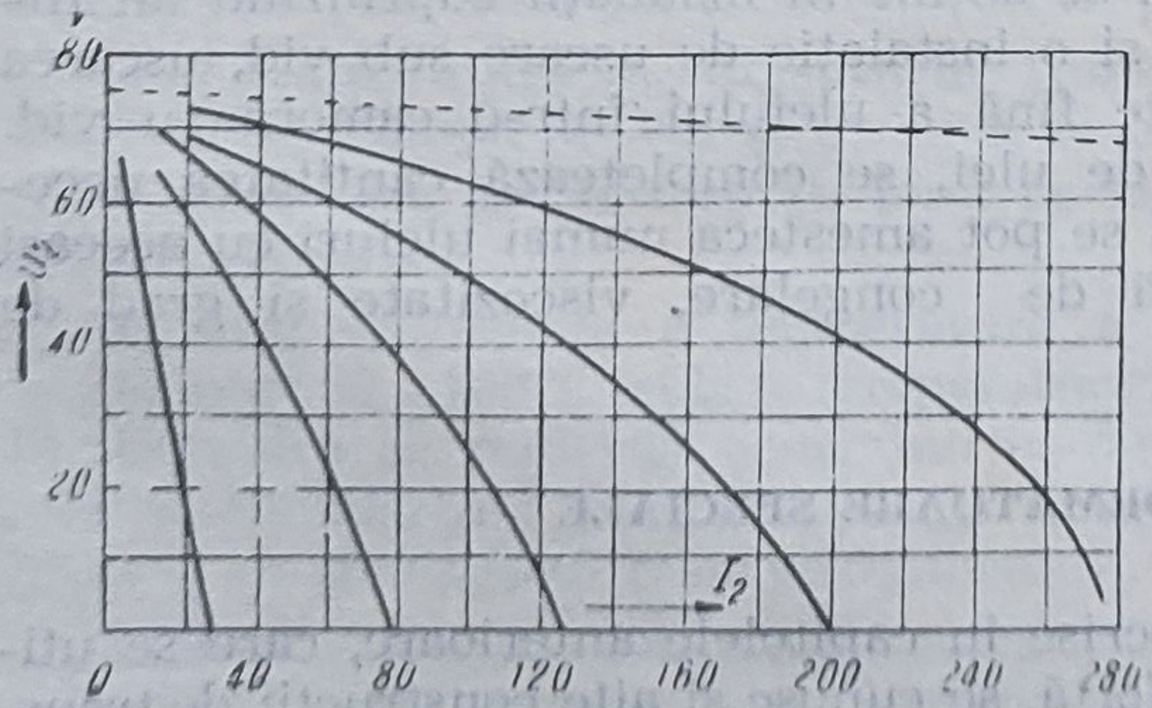


Fig. 1-25. Caracteristicile externe $U_2=f(I_2)$ ale unui transformator de sudură prin arc.

— **Transformatorul cu prize de reglaj** (fig. 1-26 *c*) realizează reglajul curentului secundar cu ajutorul unei bobine de reactanţă B cu prize şi cu circuit magnetic propriu, legată în serie cu primarul trans-

formatorului, sau prin modificarea numărului de spire din înfășurarea primară a transformatorului (fig. 1-26, *d*). Prin această metodă reglajul nu se mai poate face în mod continuu, ci în trepte.

● **Transformatoarele pentru sudura electrică prin contact** (sau prin presiune) se caracterizează prin tensiuni secundare relativ reduse (la mersul în gol, 2—10 V) și curenți secundari foarte ridicați, care pot ajunge pînă la 100 000 A în cazul suprafețelor mari de contact ale sudurii. Puterile lor pot varia, după necesități, de la cîțiva kVA pînă la sute de kVA. Reglajul curentului secundar se realizează cu ajutorul unei bobine de reactanță cu prize (v. 1-26, *c*) sau prin modificarea numărului de spire din înfășurarea primară.

La toate tipurile de transformatoare de sudură prin contact, înfășurarea primară nu diferă de aceea a transformatoarelor de putere. Deoarece t.e.m. secundară este mică, înfășurarea are o spiră, maximum două, executate din cupru rotund sau plat, din plăci sau foi subțiri de cupru sau dintr-o spiră turnată din alamă și avînd interiorul gol pentru circulația apei de răcire. Această varietate de construcție a înfășurării secundare depinde de puterea transformatorului și are ca scop să micșoreze pierderile prin curenți turbionari și să asigure transmisia căldurii produse prin efect Joule de curenții de intensitate mare care trec prin spire.

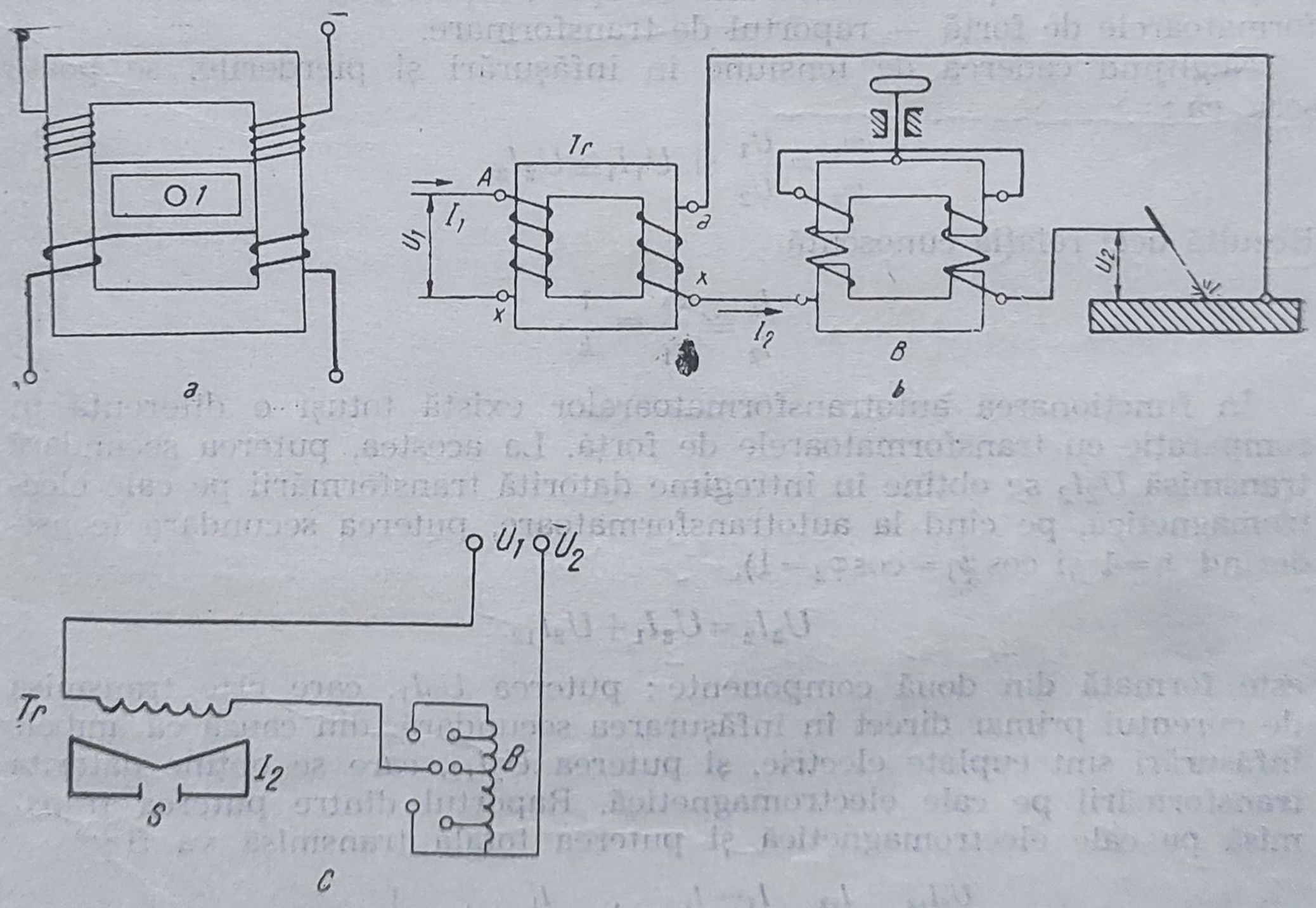


Fig. 1-26. Transformator de sudură cu reglaj :
a — prin șunt magnetic deplasabil ; *b* — cu bobină de reactanță reglabilă ; *c* — cu bobină de reactanță cu prize.

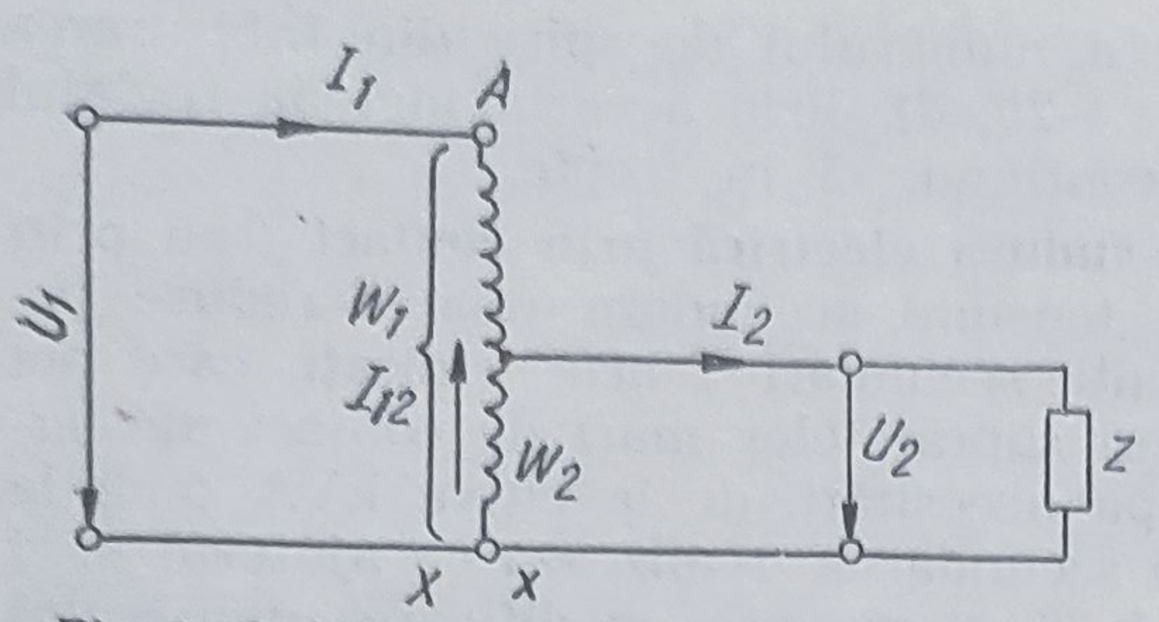


Fig. 1-27. Schema unui autotransformator.

Autotransformatoarele se folosesc pentru rapoarte de transformare mici. Ele se deosebesc din punct de vedere constructiv de un transformator obișnuit, prin faptul că înfășurările primare și secundare sînt cuplate electric, astfel că înfășurarea de joasă tensiune a autotransformatorului reprezintă o parte din înfășurarea de înaltă tensiune (fig. 1-27).

Dacă înfășurarea secundară *ax* nu este legată la impedanța Z, care reprezintă sarcina (înfășurarea primară *AX* fiind legată la sursa de tensiune), autotransformatorul va funcționa ca un transformator obișnuit în gol. Fluxul magnetic alternativ care trece prin miezul circuitului magnetic va induce în înfășurări o t.e.m. al căror raport

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k,$$

proporțional cu raportul numărului de spire, reprezintă — ca și la transformatoarele de forță — raportul de transformare.

Neglijînd căderea de tensiune în înfășurări și pierderile, se poate scrie că :

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2} \text{ și } U_1 I_1 \cong U_2 I_2.$$

Rezultă deci relația cunoscută

$$\frac{I_1}{I_2} \cong \frac{w_2}{w_1} = \frac{1}{k}.$$

În funcționarea autotransformatoarelor există totuși o diferență în comparație cu transformatoarele de forță. La acestea, puterea secundară transmisă $U_2 I_2$ se obține în întregime datorită transformării pe cale electromagnetică, pe cînd la autotransformatoare, puterea secundară (considerînd $\eta = 1$ și $\cos\varphi_1 = \cos\varphi_2 = 1$).

$$U_2 I_2 = U_2 I_1 + U_2 I_{12}$$

este formată din două componente : puterea $U_2 I_1$, care este transmisă de curentul primar direct în înfășurarea secundară, din cauză că ambele înfășurări sînt cuplate electric, și puterea $U_2 I_{12}$, care se obține datorită transformării pe cale electromagnetică. Raportul dintre puterea transmisă pe cale electromagnetică și puterea totală transmisă va fi :

$$\frac{U_2 I_{12}}{U_2 I_2} = \frac{I_{12}}{I_2} = \frac{I_2 - I_1}{I_2} = 1 - \frac{I_1}{I_2} = 1 - \frac{1}{k},$$

deoarece din figura 1-25 rezultă $I_2 = I_1 + I_{12}$.

Prin partea comună a înfășurării trece curentul $I_{12}=I_2-I_1$. Dacă raportul de transformare $k\cong 1$, curenții I_1 și I_2 sînt aproape egali între ei. Din această cauză, înfășurarea părții comune se face cu o secțiune mai mică, ceea ce micșorează consumul de cupru.

Din relația care dă valoarea raportului $\frac{U_2 I_{12}}{U_2 I_2}$, se observă de asemenea că se obțin pierderi cu atît mai mici și un consum cu atît mai mic de materiale active, cu cît raportul de transformare k — deci raportul tensiunilor — este mai aproape de unitate. Astfel, s-a constatat că autotransformatorul cu un raport de transformare mic (1,5—2) este mai ieftin decît transformatorul obișnuit.

Dezavantajul autotransformatoarelor constă în faptul că înfășurarea secundară este legată electric de înfășurarea primară, deci ea trebuie să aibă o aceeași izolație în raport cu miezul ca și înfășurarea primară. În cazul unei întreruperi în înfășurarea *ax*, tensiunea înaltă din primar pătrunde în rețeaua de joasă tensiune din secundar din cauza cuplajului electric ; aceasta împiedică folosirea autotransformatoarelor în unele instalații, deoarece nu se respectă normele de protecția muncii.

CAPITOLUL II

MAŞINI ELECTRICE ROTATIVE

Larga utilizare a maşinilor electrice în majoritatea ramurilor economiei naţionale, au determinat creşterea producţiei de maşini electrice. În prezent, se produc în ţară o mare diversitate de maşini electrice, care prin performanţele superioare pe care le realizează, satisfac cerinţele economiei naţionale şi sînt solicitate şi la export.

În ordinea mărimii (respectiv puterii) maşinile electrice se produc în special la următoarele întreprinderi : „Fabrica de maşini electrice"-Piteşti, „Electroprecizia"-Săcele, „Electromotor"-Timişoara, „Uzina de maşini electrice"-Bucureşti, „Electroputere"-Craiova şi o secţie specializată la Reşiţa.

În afara motoarelor de construcţie normală, ca realizări deosebite ale industriei noastre constructoare de maşini electrice se pot menţiona turbogeneratoarele şi hidrogeneratoarele de mare putere ce echipează multe din centralele electrice din ţara noastră.

A. PRODUCEREA CÎMPULUI MAGNETIC ÎN MAŞINILE ELECTRICE DE CURENT ALTERNATIV

1. CÎMP MAGNETIC ALTERNATIV

● **Producerea cîmpului bipolar.** Maşinile electrice au circuitul magnetic realizat dintr-o armătură cilindrică *A*, denumită *stator*, în interiorul căreia se poate roti o a doua armătură cilindrică *B*, numită *rotor*. Cele două armături sînt executate din materiale feromagnetice şi sînt separate printr-un spaţiu redus de aer, *întrefier*. Pe stator, în apropierea întrefierului, este aşezat un bobinaj format din mai multe spire în serie, parcurse de curentul *i*. Legăturile între conductoare trebuie să fie astfel făcute astfel încît conductoarele să se grupeze în două zone : jumătate din numărul conductoarelor să formeze o zonă în care conductoarele să fie parcurse de curenţi care circulă de la cititor spre planul figurii (semnul ⊕), iar restul de conductoare, din zona a doua, să fie parcurse de curenţi de sens contrar (semnul ⊙). Bobinajul se comportă aproximativ ca un solenoid şi produce un cîmp magnetic ale cărui linii de cîmp se închid prin stator, rotor şi întrefier după liniile trasate punctat în figura 2-1, *a*. Liniile de cîmp în întrefier se confundă practic cu razele care trec prin centrul armăturii adică, într-un punct *M* din întrefier, cîmpul se reprezintă printr-un vector *H* radial. Pe figură s-a trasat axa *NS* de simetrie a bobinajului, care este axa cîmpului, şi o axă *UV* perpendiculară pe axa *NS*, numită *axă neutră*. Zona *UNV*, în care liniile de cîmp

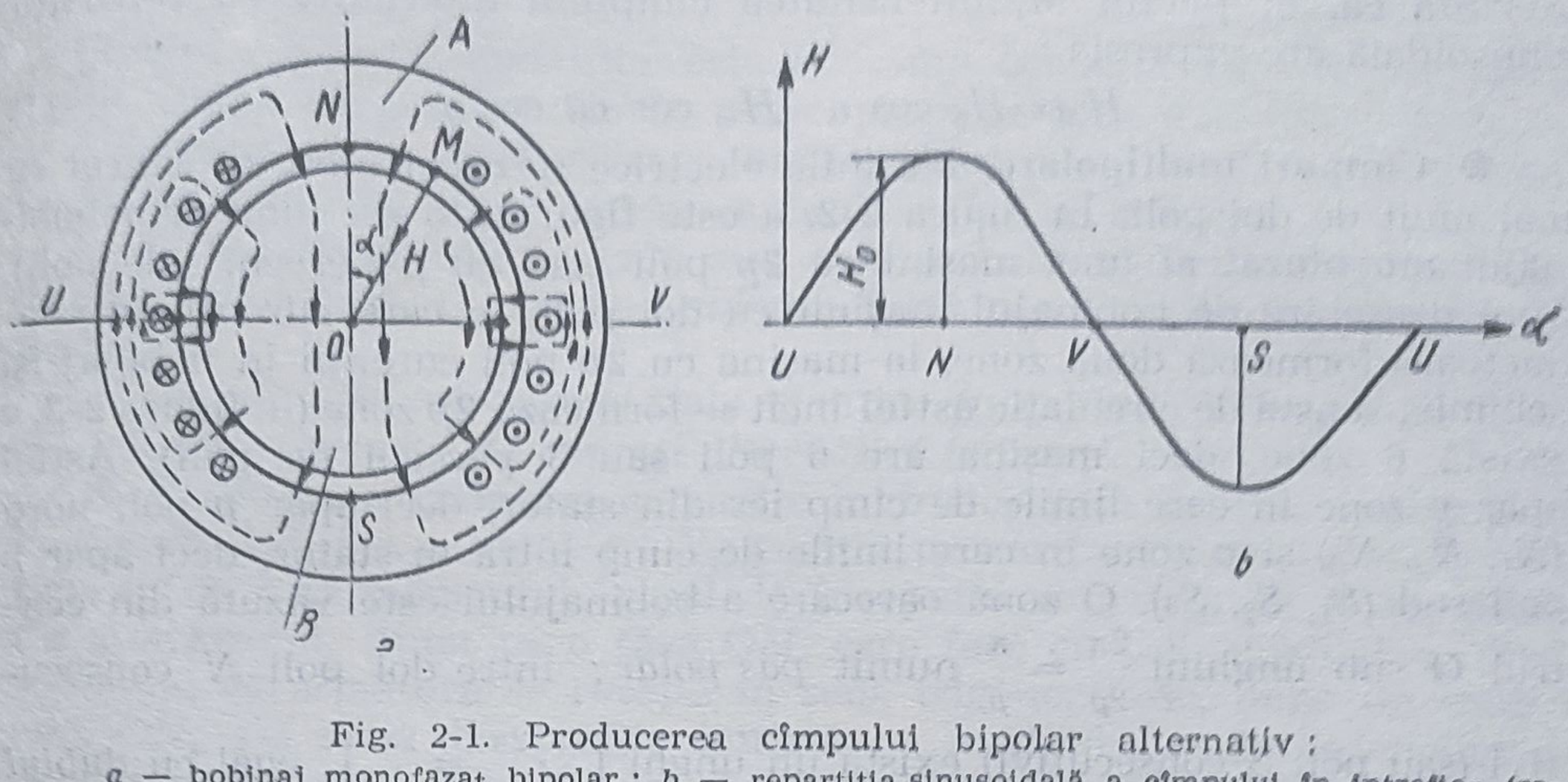


Fig. 2-1. Producerea cîmpului bipolar alternativ :
a — bobinaj monofazat bipolar ; *b* — repartiția sinusoidală a cîmpului în întrefier (reprezentare desfășurată).

ies din stator și trec în întrefier formează un pol nord (*N*) al cîmpului ; zona *VSU*, în care liniile de cîmp intră din întrefier în stator, formează un pol sud (*S*) al cîmpului. În cazul de față, cîmpul are deci doi poli și se numește **cîmp bipolar,** iar mașina respectivă se numește **mașină bipolară.** În punctul *U* din întrefier intensitatea cîmpului magnetic *H* este nulă. Ea crește și ajunge la un maxim în punctul *N*, apoi scade și ajunge din nou la zero înpunctul *V*. Din punctul *V* către *S* intensitatea cîmpului *H* crește din nou, dar — avînd sens contrar sensului din zona *UNV* — are valoare negativă, ajungînd din nou la un maximum în punctul *S*. Din *S* către *V*, intensitatea cîmpului scade învaloare absolută pînă la valoarea zero. În consecință ,dacă se reprezintă periferia statorului prin dreapta *UNVSU* (fig. 2-1, *b*) — obținută prin tăierea statorului după o generatoare și prin desfășurarea periferiei pe un plan — *intensitățile cîmpului din diferite puncte ale întrefierului se înscriu pe o sinusoidă.* Un asemenea cîmp se numește **cîmp cu repartiție sinusoidală.**

● **Producerea cîmpului bipolar variabil în timp.** În punctul *M* din întrefier a cărui poziție este definită de unghiul α făcut de raza variabilă OM cu raza fixă *ON*, intensitatea cîmpului se poate scrie :

$$H_M = H_0 \cos \alpha,$$

în care H_0 este intensitatea în punctul *N*. Dacă curentul *i* este constant, cîmpul magnetic *H* este de asemenea constant în timp în fiecare punct. *Dacă curentul i este alternativ,* $I = I\sqrt{2} \cos \omega t$, *intensitatea cîmpului în fiecare punct variază sinusoidal în timp o dată cu curentul.* În acest caz, cîmpul magnetic se numește **cîmp alternativ cu repartiția sinusoidală.** În punctul *N*, intensitatea H_0 variază în funcție de timp, proporțional cu curentului *i* și în fază cu acest curent, deci :

$$H_0 = H_m \cos \omega t.$$

Rezultă că, în puctul M, intensitatea cîmpului alternativ cu repartiție sinusoidală are expresia :

$$H_M = H_0 \cos \alpha = H_m \cos \omega t \cos \alpha.$$

● **Cîmpuri multipolare.** Mașinile electrice se construiesc de obicei cu mai mult de doi poli. În figura 2-2, *a* este figurată o secțiune prin bobinajul monofazat al unei mașini cu $2p$ poli (sau cu p perechi de poli). Spre deosebire de bobinajul mașinii cu doi poli, la care curenții în conductoare formează două zone, la mașina cu $2p$ poli curenții în bobinaj își schimbă sensul de circulație astfel încît se formează $2p$ zone (în figura 2-2, *a* există 6 zone, deci mașina are 6 poli sau 3 perechi de poli). Astfel apar p zone în care liniile de cîmp ies din stator, deci apar p poli nord (N_1, N_2, N_3) și p zone în care liniile de cîmp intră în stator, deci apar p poli sud (S_1, S_2, S_3). O zonă oarecare a bobinajului este văzută din centrul O sub unghiul $\frac{2\pi}{2p} = \frac{\pi}{p}$ numit *pas polar* ; între doi poli N consecutivi (sau poli S consecutivi) există un unghi $\left(2 \cdot \frac{2\tau}{2p} = \frac{2\pi}{p}\right)$, egal cu *dublul pas polar*. Cîmpul astfel format este un *cîmp multipolar*. Acest cîmp este tot un cîmp cu repartiție sinusoidală : în punctul N_1 cîmpul are la un moment dat valoarea maximă H_0, apoi scade și se anulează la mijlocul arcului N_1S_1, după care devine minim ($-H_0$) în punctul S_1, de unde crește și se anulează la mijlocul arcului S_1N_2, apoi devine din nou maxim (H_0) în punctul N_2 și așa mai departe. Repartiția intensității cîmpului este reprezentată în figura 2-2, *b* ; totul se petrece ca și cum mașina din figura 2-1, *a* ar fi alcătuită din p mașini bipolare așezate una lîngă alta, fiecare din mașinile bipolare ocupînd un dublu pas polar. Ținînd seamă de acest fapt, rezultă că, într-un punct M situat pe o rază OM care face cu ON_1 unghiul α, intensitatea cîmpului se scrie :

$$H = H_0 \cos p\alpha.$$

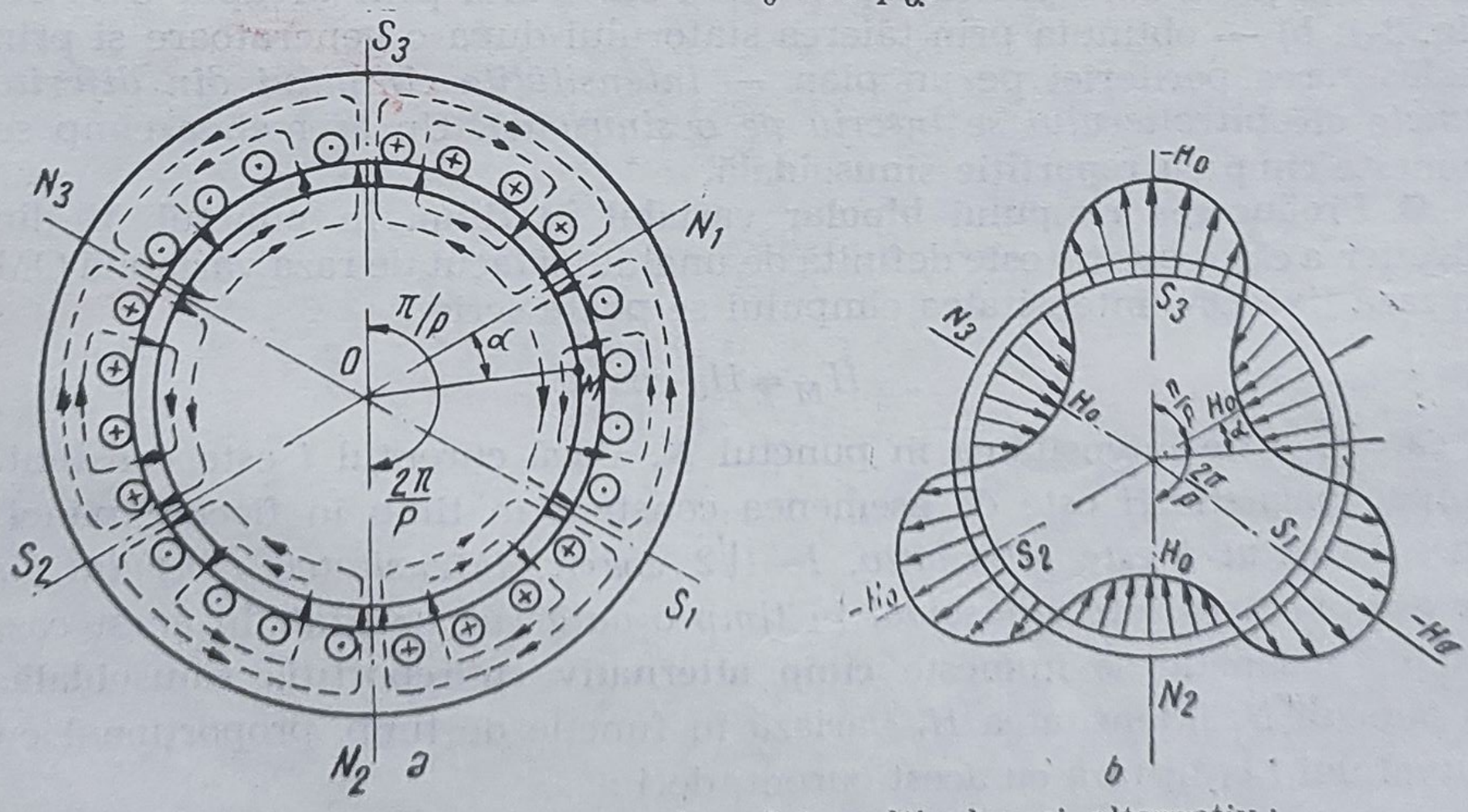


Fig. 2-2. Producerea cîmpului multipolar și alternativ :
a — bobinaj monofazat cu șase poli ; *b* — repartiția cîmpului în întrefier.

2. CÎMP MAGNETIC ÎNVÎRTITOR

Cîmpul magnetic învîrtitor este un cîmp constant care se rotește în spațiu. Acest cîmp magnetic se poate produce prin mai multe metode :

— *rotind un magnet permanent,* în jurul unui ax *O* perpendicular pe planul magnetului, cu viteza unghiulară Ω (fig. 2-3, *a*) ;

— *rotind armăturile* pe care sînt așezate bobinajele din figurile 2-1, *a* și 2-2, *a* cu viteza Ω, aceste *bobinaje fiind parcurse de un curent continuu* ;

— *cu trei bobinaje monofazate* identice *fixe,* care alcătuiesc un bobinaj trifazat, *parcurse de curenți alternativi trifazați.*

● **Producerea cîmpului magnetic învîrtitor prin rotirea armăturilor.** Pe figura 2-3, *b* s-a notat cu N_1 poziția pe care o ocupă polul N_1 din figura 2-2, *b* la momentul inițial, la începutul rotirii, și cu *M* un punct fix al spațiului, situat pe o rază *OM,* care face cu ON_1 unghiul α_0. Presupunînd că armătura se rotește în sens trigonometric, după un timp *t* raza ON_1 s-a rotit din poziția inițială cu unghiul $\beta = \Omega t$, ajungînd în poziția notată ON_1' (fig. 2-3, *c*). La momentul *t,* razele ON_1' și *OM* fac unghiul $\alpha = \alpha_0 + \beta = \alpha_0 + \Omega t$. Rezultă că intensitatea cîmpului magnetic în punctul fix *M* al spațiului este :

$$H = H_0 \cos p\,\alpha = H_0 \cos p\,(\alpha_0 + \Omega t).$$

Dacă armătura se rotește în sens invers sensului trigonometric, rezultă că $\alpha = a_0 - \beta = \alpha_0 - \Omega t$ deci intensitatea cîmpului magnetic în punctul fix *M* se scrie :

$$H = H_0 \cos p(\Omega_0 \alpha + t).$$

● **Producerea cîmpului magnetic învîrtitor cu ajutorul unui bobinaj trifazat bipolar.**

În figura 2-4 este arătată schema unui bobinaj trifazat bipolar. Fiecare fază este executată după regulile bobinajului monofazat bipolar, cu deosebirea că o fază ocupă a treia parte din periferie : cele două zone ocupate de faza *1* sînt reprezentate haşurat, cele ocupate de faza *2* — cu

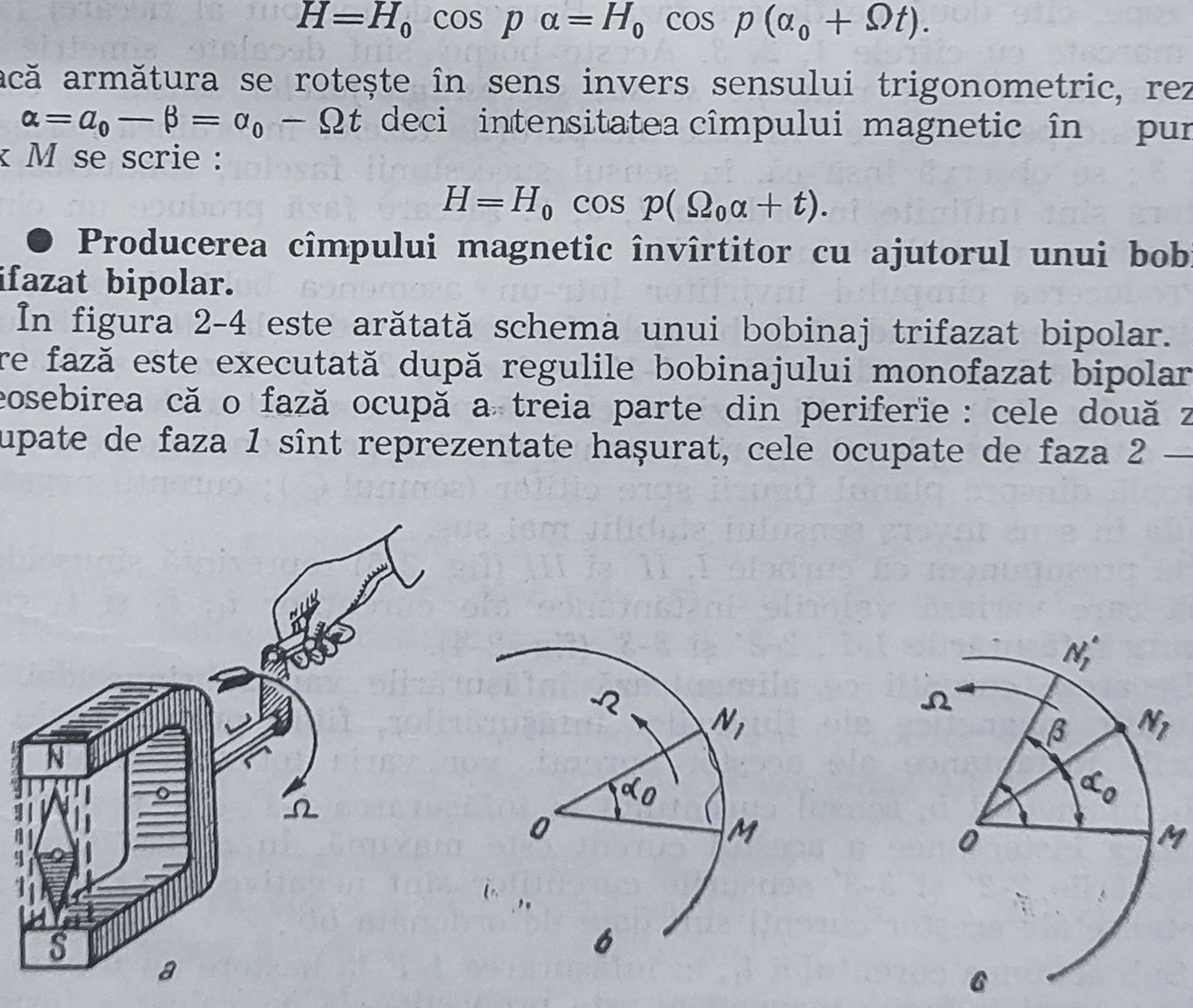


Fig. 2-3. Producerea cîmpului magnetic învîrtitor :
a — prin rotirea unui magnet permanent ; *b, c* — prin rotirea unei armături cu bobinaj monofazat parcurs de curent continuu.

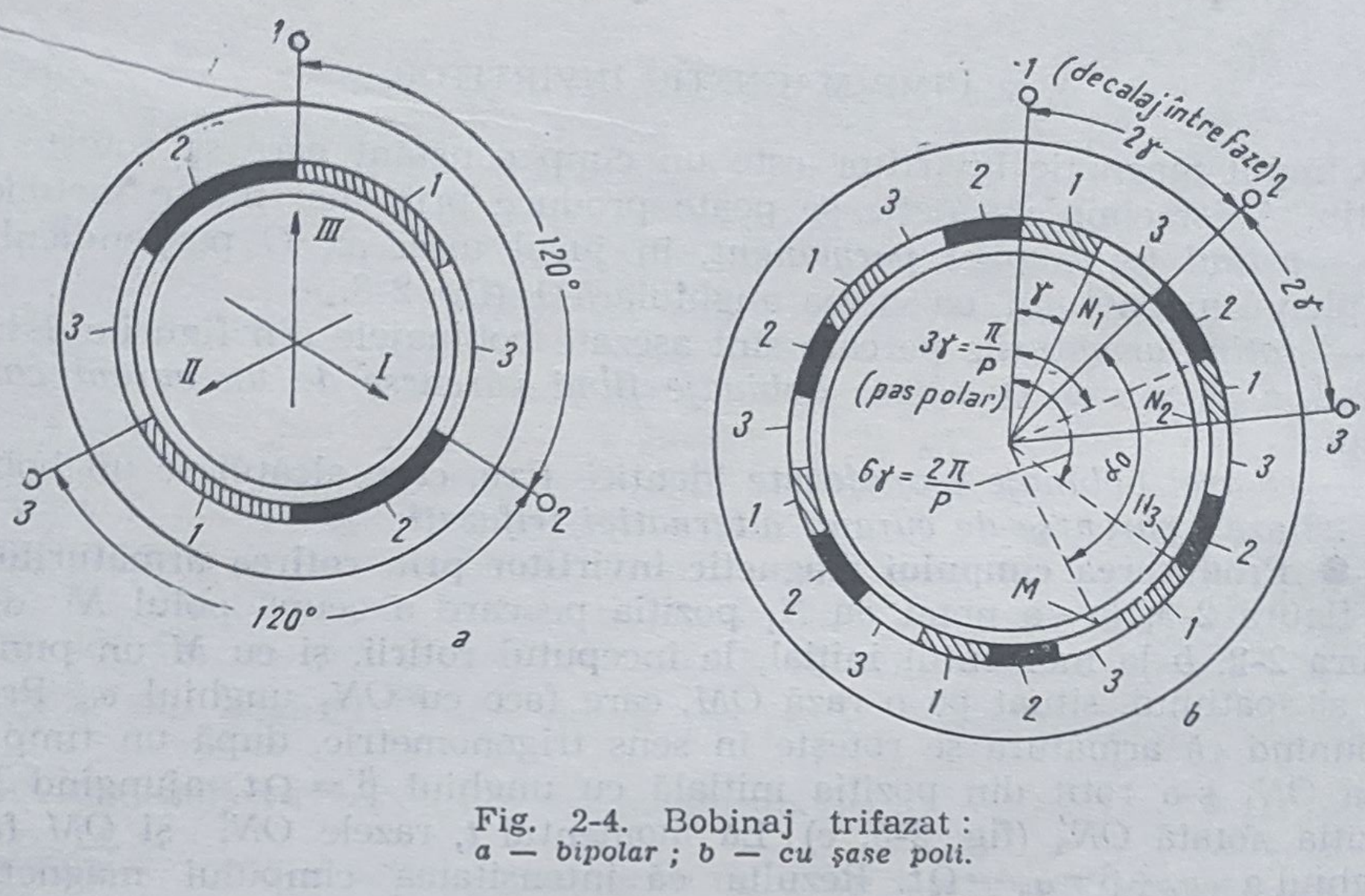


Fig. 2-4. Bobinaj trifazat :
a — bipolar ; b — cu şase poli.

negru plin, iar cele ocupate de faza *3* — cu alb. Bobinajul are în total şase zone, cîte două pe fiecare fază. Bornele de început al fiecărei faze sînt marcate cu cifrele *1, 2, 3*. Aceste borne sînt decalate simetric pe periferie la 120°. Se numeşte *sensul succesiunii fazelor* sensul în care, parcurgînd periferia, se întîlnesc începuturile fazelor în ordinea normală *1, 2, 3* ; se observă însă că, în sensul succesiunii fazelor, conductoarele acestora sînt întîlnite în ordinea *1, 3, 2*. Fiecare fază produce un cîmp alternativ cu repartiţie sinusoidală.

Producerea cîmpului învîrtitor într-un asemenea bobinaj poate fi explicată presupunînd că bobinajele fazelor se reduc la cîte o singură spiră, formată de conductoarele *1-1′* pe faza *1*, *2-2′* pe faza *2* şi *3-3′* pe faza *3* (fig. 2-5). Curenţii pozitivi circulă prin conductoarele *1′*, *2′*, *3′* de la cititor spre planul figurii (semnul ⊕), iar prin conductoarele *1*, *2*, *3* circulă dinspre planul figurii spre cititor (semnul ⊙); curenţii negativi circulă în sens invers sensului stabilit mai sus.

Să presupunem că curbele *I*, *II* şi *III* (fig. 2-5) reprezintă sinusoidele după care variază valorile instantanee ale curenţilor i_1, i_2 şi i_3 care parcurg înfăşurările *1-1′*, *2-2′* şi *3-3′* (fig. 2-4).

Deoarece curenţii ce alimentează înfăşurările variază sinusoidal, şi inducţiile magnetice ale fluxurilor înfăşurărilor, fiind proporţionale cu valorile instantanee ale acestor curenţi, vor varia tot sinusoidal.

În momentul *b*, sensul curentului în înfăşurarea *1-1′* este pozitiv, iar valoarea instantanee a acestui curent este maximă. În acelaşi timp, în înfăşurările *2-2′* şi *3-3′* sensurile curenţilor sînt negative şi valorile instantanee ale acestor curenţi sînt date de ordonata *bb′*.

Sub acţiunea curentului i_1, în înfăşurarea *1-1′* ia naştere un flux magnetic a cărui inducţie magnetică este proporţională cu valoarea instantanee a curentului i_1, adică cu ordonata *bb″*. Direcţia vectorului acestei inducţii coincide cu normala la planul spirelor înfăşurării *1-1′*. În con-

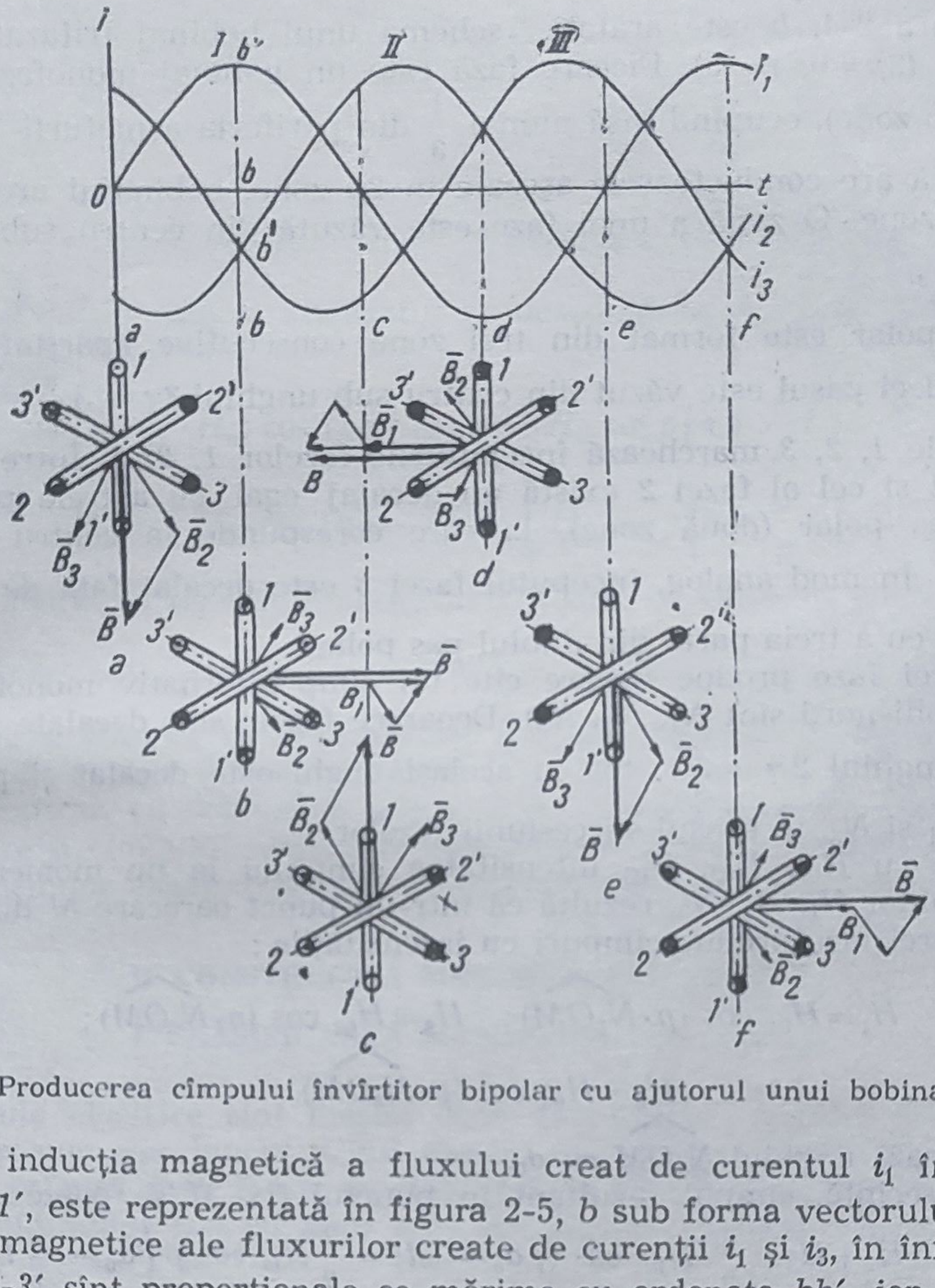


Fig. 2-5. Producerea cîmpului învîrtitor bipolar cu ajutorul unui bobinaj trifazat.

secinţă, inducţia magnetică a fluxului creat de curentul i_1 în înfăşurarea *1-1'*, este reprezentată în figura 2-5, *b* sub forma vectorului $\bar{B}_1$. Inducţiile magnetice ale fluxurilor create de curenţii i_1 şi i_3, în înfăşurările *2-2'* şi *3-3'* sînt proporţionale ca mărime cu ordonata *bb'*, iar ca direcţie — sînt perpendiculare pe planurile spirelor înfăşurărilor. Ca urmare a acţiunii comune a inducţiilor magnetice $\bar{B}_1$, $\bar{B}_2$ şi $\bar{B}_3$, se obţine o inducţie magnetică rezultantă $\bar{B}$, egală cu suma geometrică a inducţiilor $\bar{B}_1$, $\bar{B}_2$ şi $\bar{B}_3$. In figura 2-5, *b* este dată suma geometrică a vectorilor acestor inducţii. In acelaşi fel sînt construite direcţiile instantanee ale vectorului $\bar{B}$, pentru momentele *c*, *d*, *e* şi *f*.

Din studiul diagramelor obţinute se vede că vectorul $\bar{B}$ rămîne neschimbat ca valoare absolută şi egal cu 1,5 $\bar{B}_m$ (în care $\bar{B}_m$ reprezintă valoarea maximă a inducţiei magnetice a unei înfăşurări). Vectorul $\bar{B}$ se roteşte în jurul axei înfăşurărilor, în sens opus sensului de rotire a acelor ceasornicului, cu aceeaşi frecvenţă unghiulară ca şi vectorii curenţilor din înfăşurări.

În figura 2-4, *b* este arătată schema unui bobinaj trifazat cu mai mulți poli ($2p=6$, $p=3$). Fiecare fază este un bobinaj monofazat cu $2p$ poli (cu $2p$ zone), ocupînd însă numai $\frac{1}{3}$ din periferia armăturii. Deoarece fiecare fază are conductoarele așezate în $2p$ zone, bobinajul are în total $3 \cdot 2p = 6p$ zone. O zonă a unei faze este văzută din centru sub unghiul $\gamma = \frac{2\pi}{6p} = \frac{\pi}{3p}$.

Pasul polar este format din trei zone consecutive aparținînd celor trei faze, deci pasul este văzut din centru sub unghiul $3\gamma = 3\frac{\pi}{3p} = \frac{\pi}{p}$.

Punctele *1*, *2*, *3* marchează începuturile fazelor *1*, *2*, *3*. Între începutul fazei *1* și cel al fazei *2* există un decalaj egal cu a treia parte din dublul pas polar (două zone), la care corespunde la centru unghiul $2\gamma = \frac{2\pi}{3p}$. În mod analog, începutul fazei *3* este decalat față de începutul fazei *2* cu a treia parte din dublul pas polar.

Cele trei faze produc fiecare cîte un cîmp alternativ monofazat cu $2p$ poli (polii nord sînt N_1, N_2, N_3). Deoarece fazele sînt decalate pe periferie cu unghiul $2\gamma = \frac{2\pi}{3p}$, tot cu același unghi este decalat și polul N_2 față de N_1 și N_3, în sensul succesiunii fazelor.

Notînd cu H_{01}, H_{02}, H_{03} intensitatea cîmpului la un moment t, în dreptul polilor N_1, N_2, N_3, rezultă că într-un punct oarecare M din întrefier, cele trei faze produc cîmpuri cu intensitățile :

$$H_1 = H_{01} \cos (p \cdot \widehat{N_1OM}); \quad H_2 = H_{02} \cos (p \cdot \widehat{N_2OM});$$

$$H_3 = H_{03} \cos (p \cdot \widehat{N_3OM}).$$

Se notează unghiul $\widehat{N_1OM}$ *cu* α_0.

În consecință, cîmpul rezultant în punctul fix M se poate scrie :

$$H = H_1 + H_2 + H_3 = \frac{3}{2} H_m \cos (p\alpha_0 - \omega t) = \frac{3}{2} H_m \cos p\left(\alpha_0 - \frac{\omega}{p} t\right).$$

Cîmpul rezultant produs de un bobinaj trifazat cu p perechi de poli este deci *un cîmp învîrtitor cu intensitatea maximă* $\frac{3}{2} H_m$, *care se rotește în sens invers trigonometric, adică în sensul succesiunii fazelor, cu viteza unghiulară :*

$$\Omega = \frac{\omega}{p}.$$

3. DESCOMPUNEREA CÎMPULUI ALTERNATIV CU REPARTIȚIE SINUSOIDALĂ ÎN DOUĂ CÎMPURI ÎNVÎRTITOARE

Intensitatea cîmpului magnetic alternativ multipolar cu repartiție sinusoidală într-un punct M se scrie :

$$H = H_m \cos \omega t \cos p\alpha.$$

Ținînd seama de identitatea trigonometrică $\cos a \cos b = \frac{1}{2}\cos\left(a+b\right)+ +\frac{1}{2}\cos\left(a-b\right)$, rezultă :

$$H = \frac{1}{2} H_m \cos(p\alpha + \omega t) + \frac{1}{2} H_m \cos(p\alpha - \omega t) = H_1 + H_2.$$

În consecință, cîmpul alternativ se descompune în două cîmpuri, H_1 și H_2, date de relațiile :

$$H_1 = \frac{1}{2} H_m \cos(p\alpha + \omega t) = \frac{1}{2} H_m \cos p\left(\alpha + \frac{\omega}{p} t\right);$$

$$H_2 = \frac{1}{2} H_m \cos(p\alpha - \omega t) = \frac{1}{2} H_m \cos p\left(\alpha - \frac{\omega}{p} t\right).$$

Cîmpurile H_1 și H_2 sînt cîmpuri învîrtitoare, cu valoarea maximă $\frac{1}{2} H_m$, rotindu-se în sensuri contrare, cu viteza unghiulară $\Omega = \frac{\omega}{p}$. Totul se petrece ca și cum în locul armăturii fixe din figurile 2-1, *a* sau 2-2, *a* parcurse de curent alternativ, ar exista două armături care se rotesc în sens contrar, cu bobinajele parcurse de curent continuu. Această descompunere a cîmpului alternativ este folosită pentru a explica funcționarea mașinilor electrice de curent alternativ monofazat.

B. CONSTRUCȚIA MAȘINILOR ELECTRICE

1. CLASIFICAREA MAȘINILOR ELECTRICE

Mașinile electrice sînt mașini care transformă energia electrică în lucru mecanic sau invers. Cînd mașina electrică transformă o energie primară primită prin lucru mecanic (de la motoare cu ardere internă, turbine hidraulice sau cu abur etc.) în energia electrică, ea se numește *generator electric*.

Cînd mașina transformă energia electrică primită de la rețea în lucru mecanic, ea se numește *motor electric*.

Mașinile electrice sînt reversibile, putînd funcționa atît ca motor, cît și ca generator. În general însă, mașinile electrice au o funcționare precisă : generatoarele servesc la producerea energiei electrice, iar motoarele acționează diferite mașini și agregate.

● Mașinile electrice se clasifică **după natura tensiunii de alimentare sau a tensiunii pe care o produc la borne.** Se deosebesc mașini electrice *de curent continuu*, mașini electrice *de curent alternativ* și mașini electrice *universale*. În cadrul fiecăreia dintre grupele arătate mai sus, mașinile diferă după schema de conexiuni a înfășurărilor, principiu de funcționare sau particularități constructive.

● O altă clasificare se poate face **după tipurile de protecție** ale mașinilor electrice, ținînd seama că locul unde este instalată mașina deter-

mină alegerea unui anumit sistem de protecţie al maşinii ; el va depinde de felul şi influenţa mediului exterior (umezeală, praf, ploaie, amestecuri explozibile, gaze corozive). *În funcţie de protecţia pe care o asigură contra agenţilor mediului exterior maşinile electrice se clasifică* în : *maşini deschise, maşini protejate contra stropilor de apă, maşini cu inele colectoare capsulate şi maşini ermetic închise.*

● **Ţinînd seama de puterea maşinilor electrice,** acestea se pot clasifica în următoarele grupe :

— *maşini cu putere mai mică decît* 0,1 *kW*, numite *micromaşini ;*

— *maşini cu putere cuprinsă între* 0,1 *şi* 0,9 *kW*, numite *maşini foarte mici ;*

— *maşini cu putere de 1—10 kW*, numite *maşini mici ;*

— *maşini cu putere de* 11—250 *kW*, numite *maşini de putere mijlocie;*

— *maşini cu putere de* 250—1 000 *kW*, numite *maşini mari ;*

— *maşini cu putere de* 1 000—100 000 *kW*, numite *maşini de mare putere*, care se execută pe bază de comenzi individuale, pentru scopuri determinate.

● **Turaţia maşinii** electrice imprimă acesteia anumite caracteristici constructive. Astfel :

— *maşinile de mică turaţie, cu turaţia de 150—375 rot/min*, sînt caracterizate prin dimensiuni relativ mari avînd de obicei un diametru mare şi, în schimb, o lungime redusă ;

— *maşinile cu turaţia de 400—1 500 rot/min* sînt considerate ca *maşini de turaţie mijlocie* şi sînt maşinile cele mai uzuale ;

— *maşinile cu turaţia de 1 500—3 000 rot/min*, considerate ca *maşini de turaţie mare*, sînt caracterizate printr-un diametru mic şi o lungime axială mare. La aceste maşini se iau măsuri constructive speciale din punctul de vedere al forţei centrifuge şi măsuri de reducere a zgomotului produs în funcţionare.

2. PRINCIPALELE TIPURI DE MAŞINI ELECTRICE

Deoarece maşinile electrice rotative sînt utilizate în diferite domenii din practica industrială, ele cuprind o mare varietate de forme constructive. Cu toate acestea, construcţia maşinilor electrice rotative prezintă anumite principii constructive comune.

După funcţiunile pe care le au diferitele piese sau subansamble care compun maşinile electrice, se deosebesc :

— *părţi active* ale maşinilor electrice, în care au loc procesele magnetice şi electrice care fac posibilă funcţionarea maşinii. Aceste părţi sînt : miezurile feromagnetice, care se execută din tablă silicioasă, oţel turnat sau fontă ; înfăşurările care se execută din cupru sau aluminiu ;

— *părţi inactive* ale maşinilor electrice, care asigură montarea părţilor active în aşa fel încît să fie posibilă funcţionarea maşinilor. În figurile 2-6, 2-7 şi 2-8 sînt reprezentate subansamblele constructive principale şi secţiunile longitudinale prin cîteva maşini electrice de putere mijlocie.

a. Maşinile asincrone

Maşinile asincrone (fig. 2-6) se folosesc *ca motoare trifazate* în marea majoritatea acţionărilor electrice. În unele instalaţii se utilizează motoare monofazate.

Motorul asincron este format din două părţi principale : partea fixă, numită *stator* şi partea mobilă, numită *rotor*.

● **Statorul motorului asincron trifazat** este format dintr-o carcasă, în interiorul căreia este aşezat un miez de oţel de formă inelară, asamblat din tole de oţel electrotehnic. Pe suprafaţa interioară a miezului există ştanţate crestături, pentru aşezarea înfăşurării.

● **Rotorul motorului asincron** este un cilindru, asamblat din tole din tablă de oţel electrotehnic, cu crestături distribuite uniform pe periferia sa şi care sînt folosite pentru aşezarea înfăşurării.

Pentru a micşora curentul de magnetizare la motoarele asincrone, întrefierul dintre stator şi rotor se face foarte mic (0,25—0,4 mm).

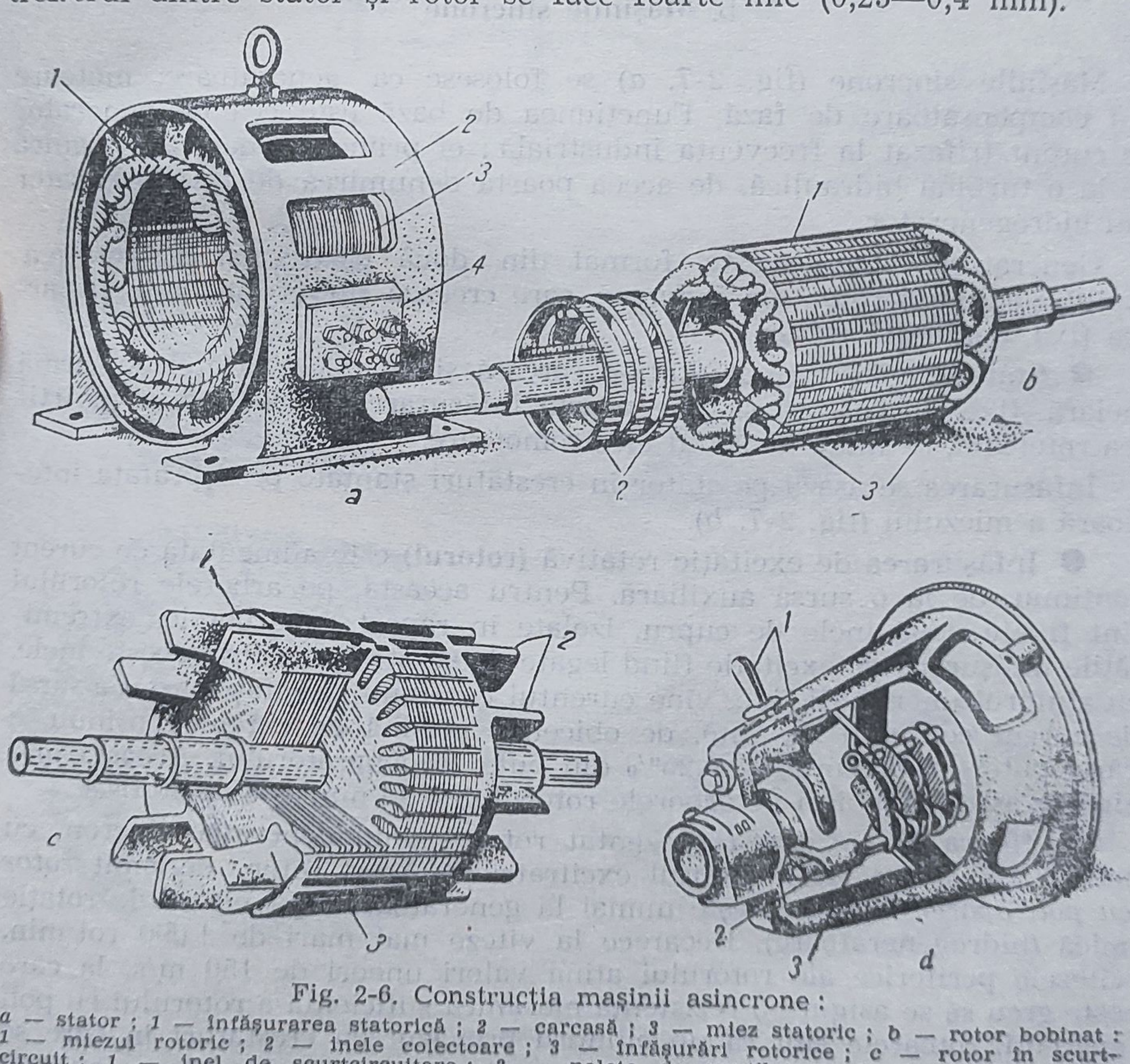


Fig. 2-6. Construcţia maşinii asincrone :

a — stator ; *1* — înfăşurarea statorică ; *2* — carcasă ; *3* — miez statoric ; *b* — rotor bobinat : *1* — miezul rotoric ; *2* — inele colectoare ; *3* — înfăşurări rotorice ; *c* — rotor în scurtcircuit ; *1* — inel de scurtcircuitare ; *2* — palete de ventilator ; *3* — miezul rotoric ; *d* — scut portpalier : *1* — dispozitiv de ridicare a perilor ; *2* — suportul portperilor ; *3* — perile cu portperii.

După construcţia înfăşurării există :

— *rotor cu inele colectoare*, sau *rotor bobinat ;*

— *rotor fără inele colectoare*, sau *în scurtcircuit.*

Cele trei faze ale înfăşurării rotoarelor bobinate au conexiunile în stea şi extremităţile fazelor se aduc la trei inele colectoare, fixate pe arbore şi izolate atît în raport cu arborele, cît şi unul în raport cu celălalt ; pe inele se aplică periile, prin intermediul cărora se conectează la circuitul rotorului reostatului de pornire sau de reglare.

Înfăşurarea rotorului în scurtcircuit se execută în formă de colivie de veveriţă şi constă din bare neizolate, aşezate în crestături (pe ambele părţi ale rotorului barele sînt scurtcircuitate prin inele), sau în crestăturile rotorului se toarnă aluminiu, care formează în acelaşi timp şi cele două inele laterale şi paletele ventilatorului.

b. **Maşinile sincrone**

Maşinile sincrone (fig. 2-7, *a*) se folosesc ca generatoare, motoare sau compensatoare de fază. Funcţiunea de bază este cea de generator de curent trifazat la frecvenţa industrială ; el primeşte energia mecanică de la o turbină hidraulică, de aceea poartă denumirea de turbogenerator sau hidrogenerator.

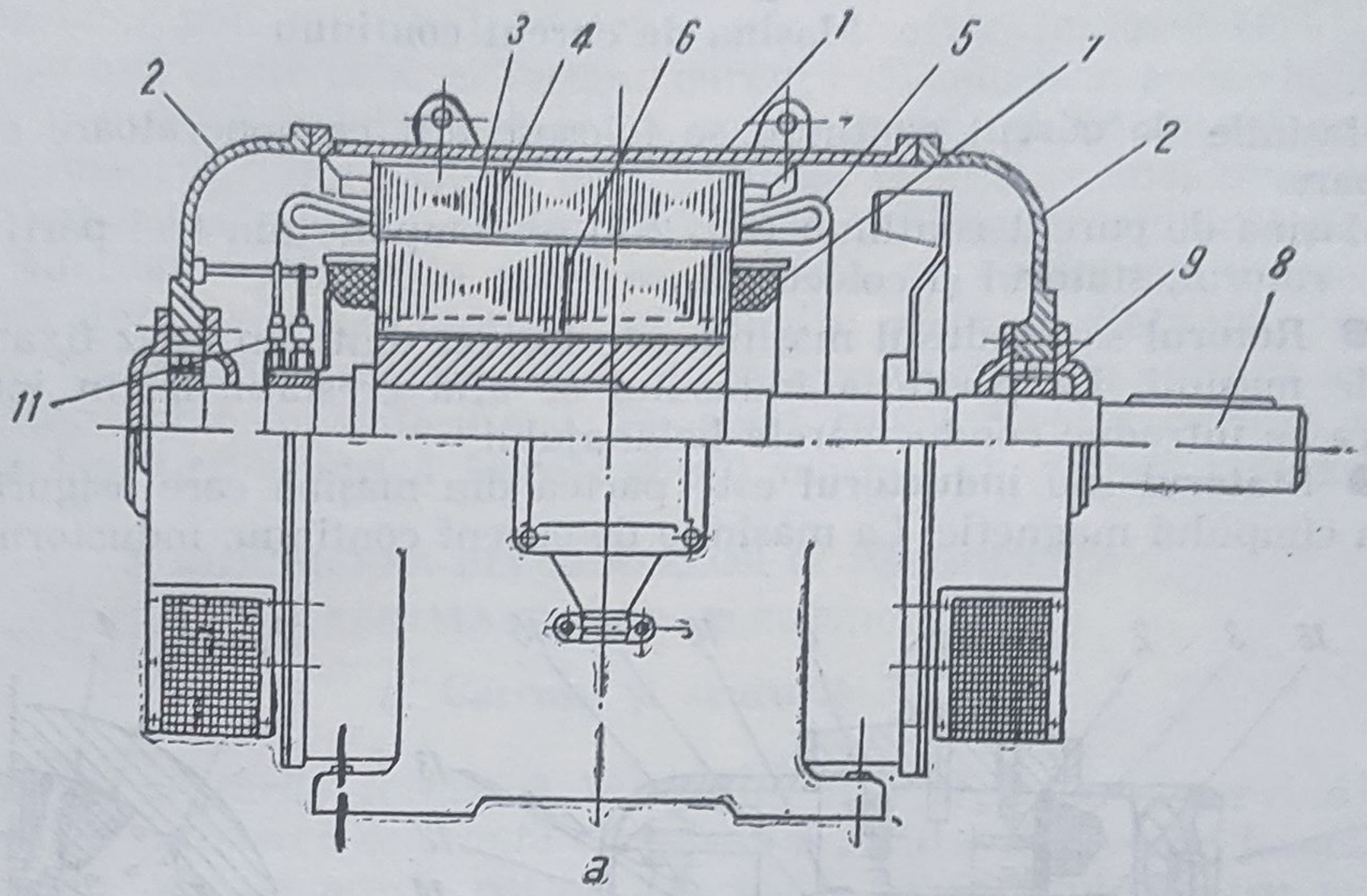
Generatorul sincron este format din două părţi : partea rotativă (polii), denumită *rotor sau inductor*, care creează fluxul magnetic şi partea fixă, denumită *stator*.

● **Statorul** este format dintr-o carcasă şi un miez de oţel de formă inelară, fixat în carcasă şi care poartă înfăşurarea în care, prin învîrtirea rotorului, se induc tensiuni electromotoare.

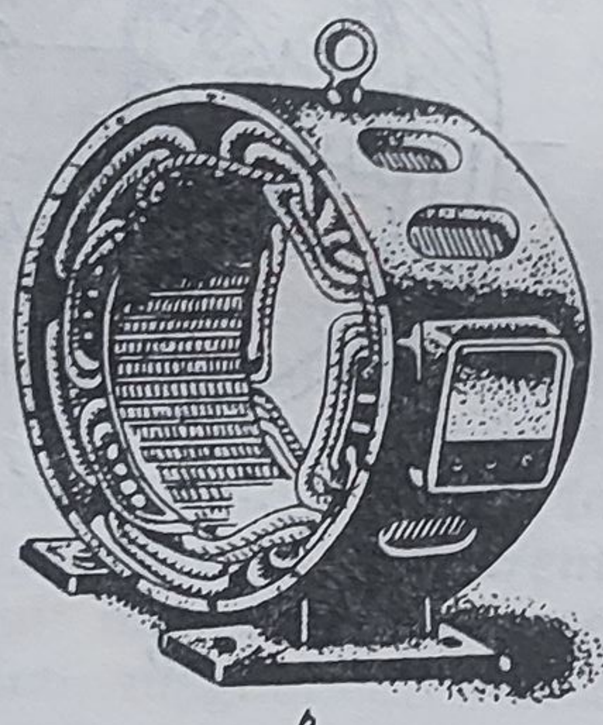
Înfăşurarea se aşază pe stator în crestături ştanţate pe suprafaţa interioară a miezului (fig. 2-7, *b*).

● Înfăşurarea de excitaţie rotativă **(rotorul)** este alimentată cu curent continuu, de la o sursă auxiliară. Pentru aceasta, pe arborele rotorului sînt fixate două inele de cupru, izolate în raport cu arborele, extremităţile înfăşurării de excitaţie fiind legate de aceste inele. Prin aceste inele, cu ajutorul unor perii fixe, vine curentul continuu în înfăşurare. Ca sursă de curent continuu serveşte, de obicei, o maşină de curent continuu, a cărei putere reprezintă 1—0,25% din puterea generatorului. Această maşină se aşază de obicei pe arborele rotorului şi se numeşte *excitatrice*.

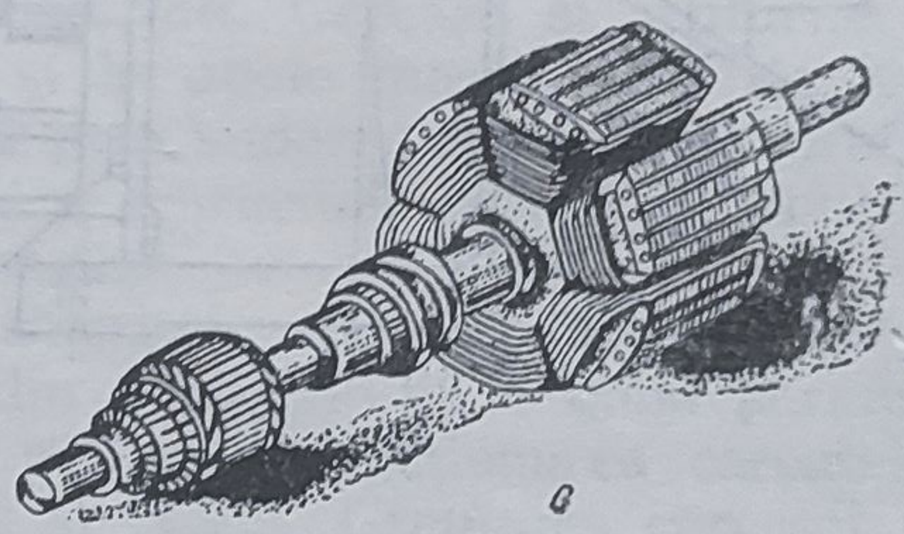
În figura 2-7, *c* este reprezentat rotorul unui generator sincron, cu inelele colectoare şi cu indusul excitratricei. Acest rotor, denumit *rotor cu poli aparenţi*, se foloseşte numai la generatoarele cu viteză de rotaţie mică (hidrogeneratoare). Deoarece la viteze mai mari de 1 000 rot/min, vitezele periferice ale rotorului ating valori uneori de 150 m/s, la care este greu să se asigure o rezistenţă mecanică suficientă a rotorului cu poli aparenţi, rotoarele sînt ca un cilindru prevăzut cu crestături în care se aşază înfăşurarea de excitaţie. Aceste rotoare se numesc *rotoare cu poli înnecaţi* (fig. 2-7) şi se folosesc la turbogeneratoare.



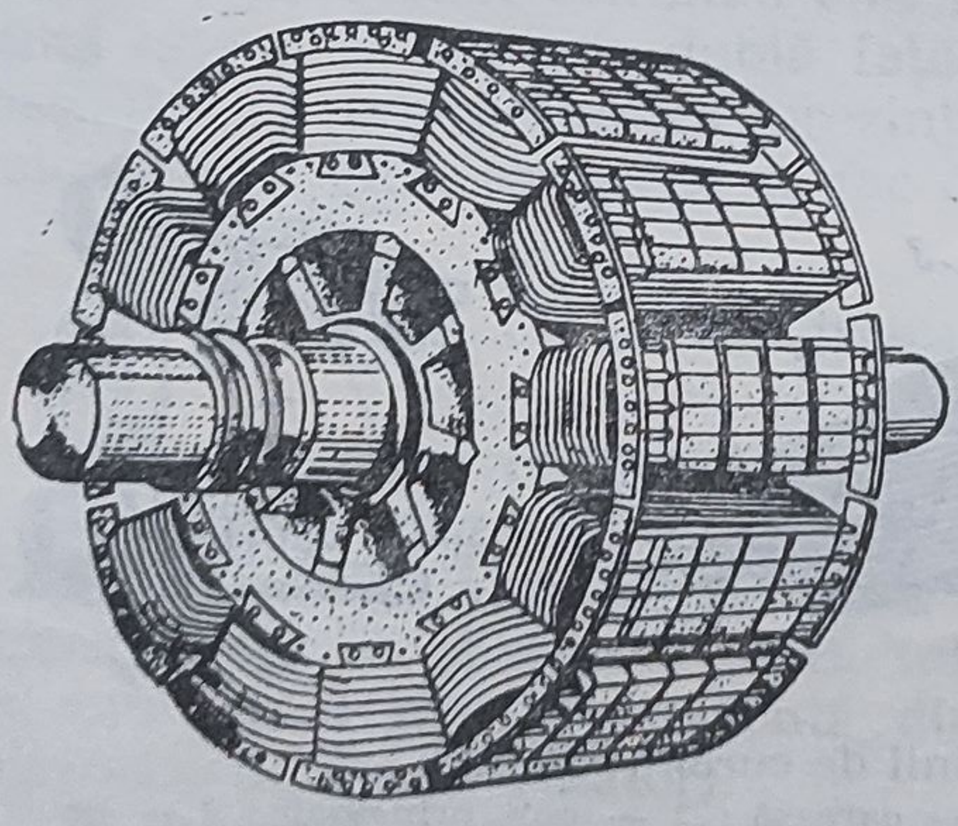
a



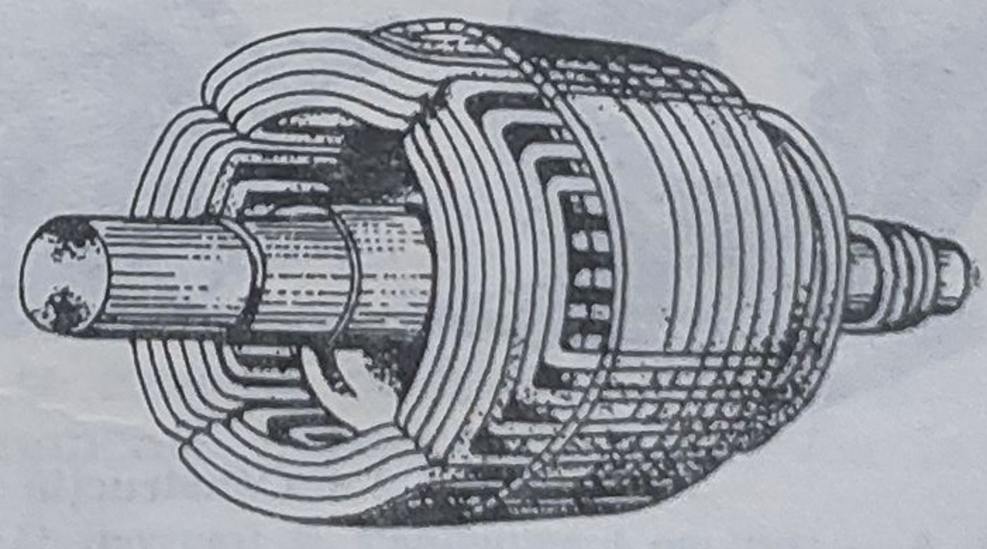
b



c



d



e

Fig. 2-7. Construcţia maşinii sincrone :
a — secţiune : *1* — carcasă ; *2* — scut ; *3* — pachet de tole statoric ; *4* — canal de ventilaţie ; *5* — capetele bobinajului statoric ; *6* — pachet de tole rotoric ; *7* — bobinaj de excitaţie ; *8* — ax ; *9* — rulment ; *10* — inele de contact ; *11* — perii ; *b* — stator : *c* — rotor cu indusul excitatricei montat pe acelaşi ax ; *d*, *e* — vedere exterioară a unui rotor cu poli aparenţi, respectiv înnecaţi.

c. Mașina de curent continuu

Mașinile de curent continuu se folosesc atît ca generatoare cît și ca motoare.

Mașina de curent continuu (fig. 2-8) se compune din trei părți principale : rotorul, statorul și colectorul.

● **Rotorul** sau **indusul** mașinii este format dintr-un miez fixat pe arborele mașinii. La periferia indusului se află crestăturile, în interiorul cărora se introduc conductoarele bobinajului.

● **Statorul** sau **inductorul** este partea din mașină care asigură existența cîmpului magnetic. La mașinile de curent continuu, inductorul apare

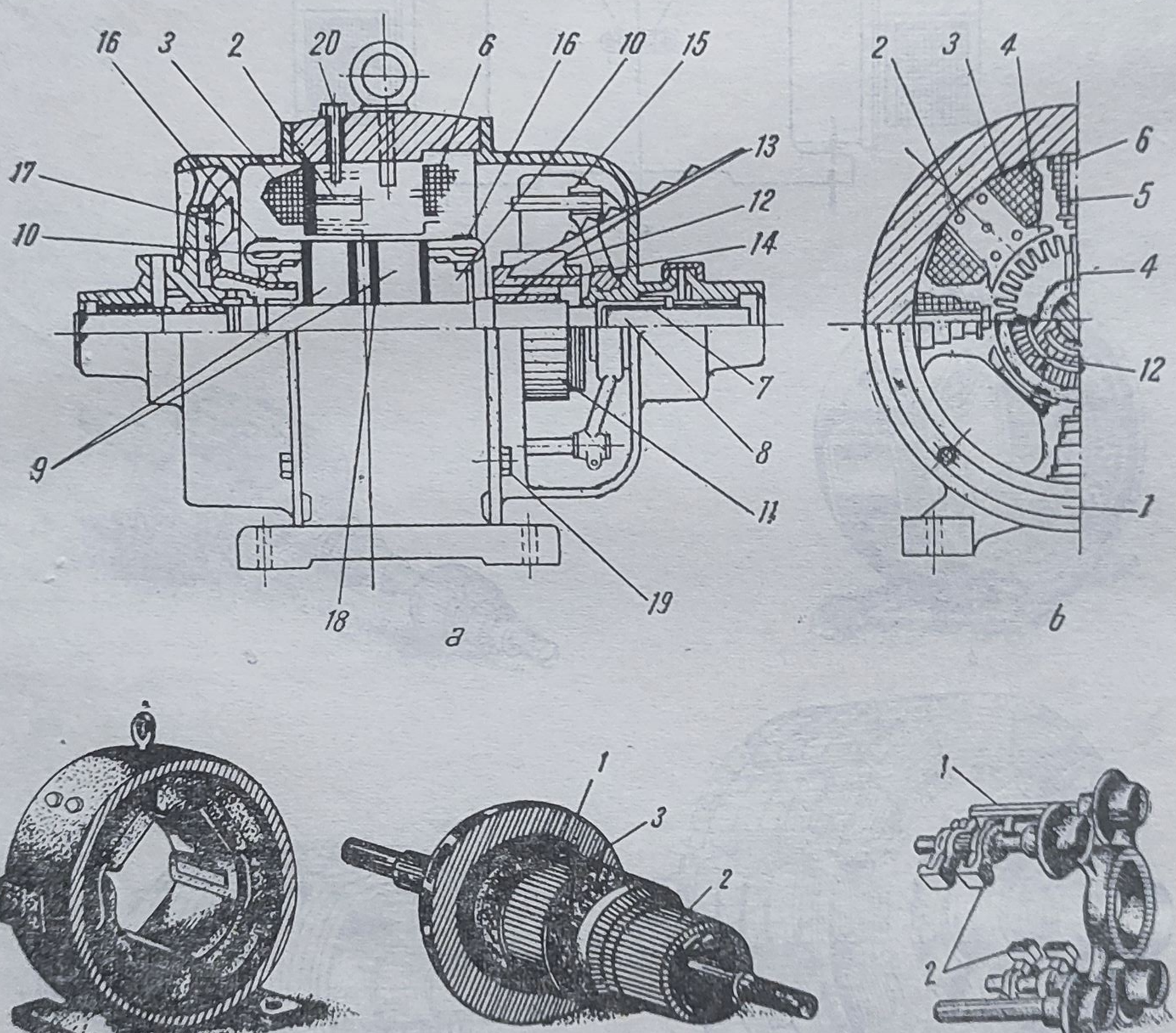


Fig. 2-8. Construcția mașinii de curent continuu :

a, b — secțiune longitudinală și transversală : *1* — carcasă ; *2* — poli principali ; *3* — bobinaj de excitație ; *4* — piesă polară ; *5* — poli auxiliari ; *6* — bobinaj de comutație ; *7* — scut ; *8* — ax ; *9* miez rotoric ; *10* — bobinaj rotoric ; *11* — colector ; *12* — lamelă de colector ; *13* — butuc colectorului ; *14* — inel de strîngere ; *15* — suport port-perii ; *16* — bandaj de consolidare a capetelor de bobină ; *17* — ventilator ; *18* — canale de ventilație ; *19* — buloane de strîngere a scuturilor ; *20* — șuruburi de prindere a polilor ; *c* — carcasă cu poli ; *d* — ax montat : *1* — ventilator ; *2* — colector ; *3* — miezul rotoric ; *e* — suportul port-periilor ; *1* — bulon port-perie ; *2* — perii.

sub forma unor poli constituiţi dintr-un miez de fier, în jurul căruia se află una sau mai multe bobine. Trecînd curent continuu prin aceste bobine, miezul de fier din interiorul bobinei se magnetizează şi acţionează ca un magnet permanent, dînd naştere unor cîmpuri magnetice mai puternice.

● **Colectorul** este partea maşinii de curent continuu cu ajutorul căreia curentul alternativ produs în spire se schimbă în curent continuu. În esenţă, colectorul este de forma unui cilindru alcătuit dintr-un număr de lamele, izolate între ele din punct de vedere electric, la care se leagă extremităţile bobinelor înfăşurării. Pe acest colector calcă *periile*, care realizează legătura electrică între indusul maşinii şi circuitul exterior.

3. DESCRIEREA ELEMENTELOR CONSTRUCTIVE ALE MAŞINILOR ELECTRICE

a. Carcasa şi scuturile

Carcasa şi scuturile formează învelişul întregii maşini, servind ca *suport pentru susţinerea celorlalte elemente* şi pentru *fixarea pe fundaţie.* În acest scop, carcasa are la partea inferioară patru tălpi. Pentru prinderea maşinii în macara serveşte inelul de ridicare, prins în partea superioară a maşinii.

Scuturile servesc la susţinerea lagărelor arborelui şi la unele tipuri constructive, *la închiderea completă a maşinii.* Carcasa şi scuturile se execută din fontă. La motoarele mari şi la unele maşini mici de construcţie specială, carcasele se execută şi prin sudare, din diferite profile şi table. Forma şi construcţia carcasei şi a scuturilor depind de tipul de protecţie pentru care a fost executată maşina.

La maşinile de curent continuu şi sincrone, carcasa serveşte şi ca circuit magnetic; de aceea se execută din materiale cu o bună permeabilitate magnetică. Materialele folosite pentru confecţionarea carcaselor maşinilor de curent continuu sînt fonta şi oţelul. Greutatea carcasei de fontă este însă aproape dublă faţă de a uneia din oţel şi de aceea, la maşinile la care greutatea prezintă importanţă (motoare de tracţiune, autovehicule etc.), carcasele se fac din oţel.

b. Circuitul magnetic

Pentru micşorarea pierderilor prin curenţi turbionari şi prin histerezis, circuitul magnetic se confecţionează din tole de oţel silicios de grosime 0,35 sau 0,5 mm, izolate între ele cu hîrtie sau cu lac. În cazul cînd dimensiunile nu sînt prea mari, tolele se execută dintr-o bucată; tolele cu dimensiuni mari se execută din segmente împachetate ţesut (ca la miezurile de transformator).

● **Statorul maşinilor asincrone şi sincrone,** precum **şi rotorul maşinilor de curent continuu şi asincrone** au înfăşurările montate în crestături. Crestăturile trebuie să aibă toate aceeaşi formă şi dimensiune (lăţime şi înălţime), astfel ca la împachetare să formeze canale cu pereţi netezi, fără proeminenţe care să strice izolaţia conductoarelor. Pachetul de tole

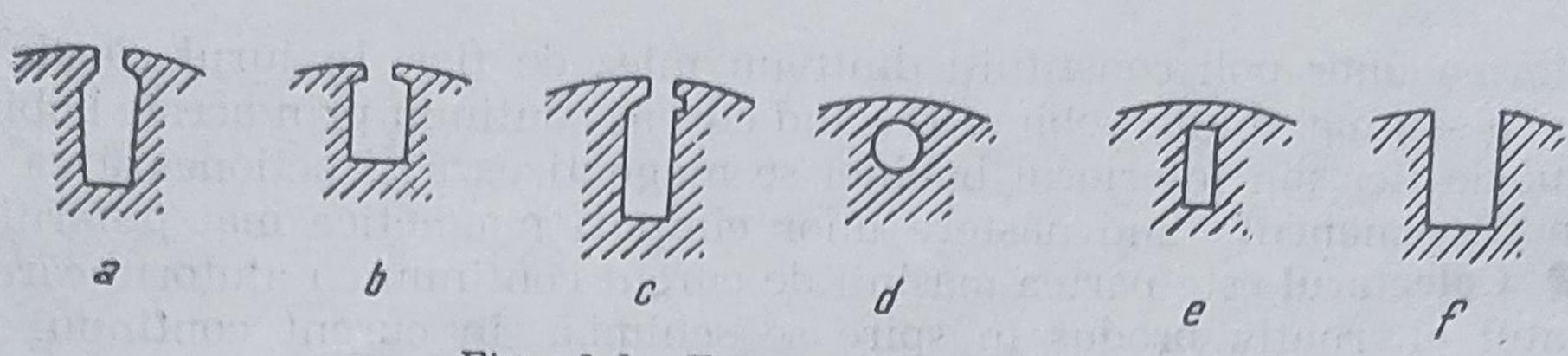


Fig. 2-9. Forme de crestături :
a, b,c — semideschise ; *d, e* — închise ; *f* — deschisă.

ale statorului se execută continuu (în cazul motoarelor scurte) sau din mai multe segmente, lăsîndu-se din loc în loc canalele de ventilație. Montarea pachetului de tole ale statorului se face între două inele de strîngere, care îl fixează solid în carcasă. Primul se sprijină direct pe carcasă, iar după presarea definitivă a pachetului de tole se fixează și inelul al doilea, prin sudare de segmenții prevăzuți în carcasă. În acest mod, pachetul de tole are o fixare solidă în carcasă.

Crestăturile pot avea diferite forme (fig. 2-9). Crestăturile, în special cele deschise, sînt prevăzute cu pene de închidere, confecționate din lemn sau din fibră. După asamblare, pachetul de tole al rotorului se strunjește la exterior, creîndu-se astfel un întrefier.

În ceea ce privește construcția mecanică a rotorului, interesează *fixarea* lui *pe arbore*. *La rotoarele mici*, pînă la 20—30 kW, fierul activ se montează direct pe ax, fixîndu-se cu o pană, iar *la rotoarele foarte mici*, fierul activ montat direct pe ax poate fi asigurat contra rotirii executînd axul randalinat. Pachetele de tole ale rotorului la motoarele asincrone în colivie pot fi solidarizate prin colivia de aluminiu turnată direct în crestăturile rotorului. *Presarea pachetelor de tole în sens axial* se face, la rotoarele mașinilor asincrone și ale celor cu colector de putere mică, cu ajutorul unor flanșe de strîngere și al unor inele de fixare, montate deseori la cald, sau cu ajutorul unor juguri.

La mașinile asincrone cu rotor bobinat sau la mașinile cu colector, flanșele marginale sînt uneori completate cu niște suporturi pentru bobinaj, pe care se reazemă capetele bobinelor. Dacă diametrul exterior al rotorului este mai mare de 400 mm pachetele de tole se montează pe un butuc, care poate fi executat în construcție turnată din fontă sau oțel.

● **Statorul mașinilor de curent continuu** este sub formă de poli. La mașinile electrice de curent continuu se deosebesc două feluri de poli :

— *poli principali*, pe care se așază bobinele de excitație ;

— *poli auxiliari*, pe care se așază bobinele de comutație.

Un pol (principal sau auxiliar) este format din miez, pe care se așază bobinajul, și din piesa polară. Piesa polară este partea situată spre întrefier, avînd o formă evazată, asigurîndu-se astfel o distribuție uniformă a fluxului în întrefier.

Polii principali se execută fie masivi, din oțel turnat sau laminat, fie din tole, fie combinat (cu miezul masiv și piese polară din tole). Polii auxiliari se execută numai masivi, fie că piesa polară este din aceeași bucată, fie că este aplicată.

Polii combinați, cu miezul masiv și piesa polară din tole (fig. 2-10) se asamblează prin șuruburi sau prin sudare. Polii confecționați din tole

se execută prin ştanţare, din tablă silicioasă sau din oţel obişnuit, cu grosimea de 0,1—1 mm.

Prinderea polilor de carcasă se face prin şuruburi.

● **Rotorul maşinilor sincrone.** Construcţia acestui rotor este diferită faţă de celelalte tipuri de maşini electrice. Rotorul maşinilor sincrone *se compune din jugul cu poli*, din *butuc* şi *ax*. Rotorul maşinilor sincrone poate fi *cu poli aparenţi* (în cazul cînd viteza periferică nu depăşeşte 80 m/s), asemănători cu polii maşinilor de curent continuu, şi *cu poli înnecaţi*, la care înfăşurarea polară se aşază în crestături.

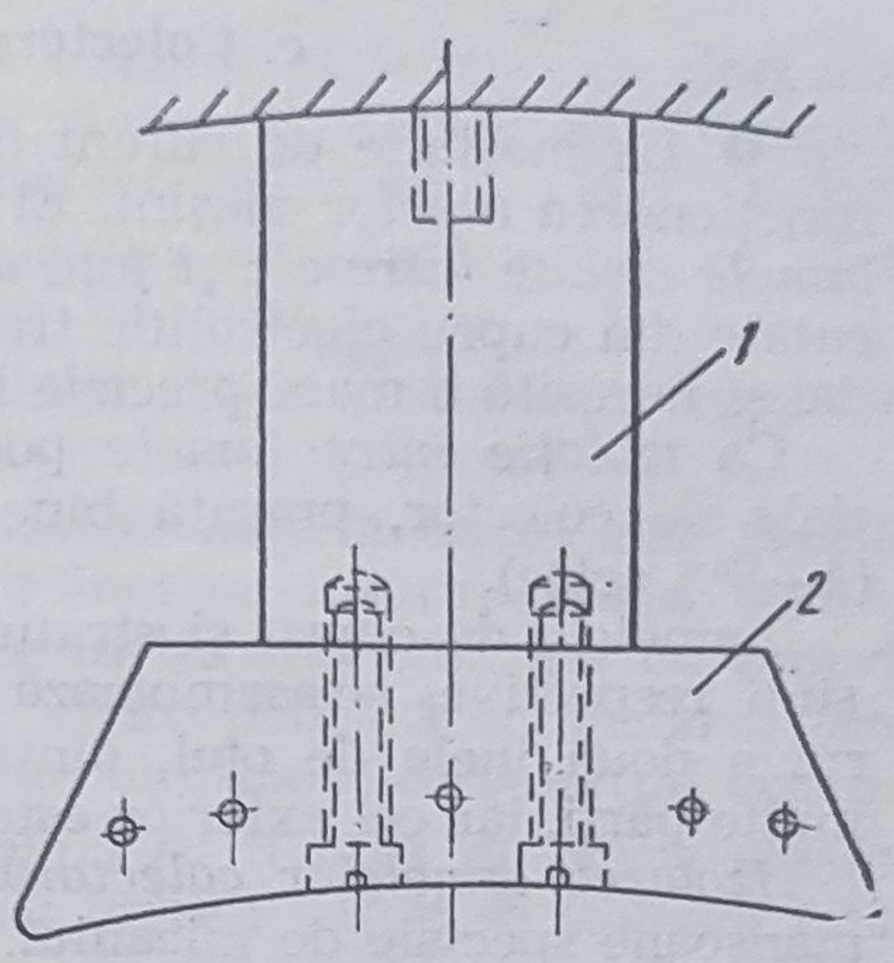


Fig. 2-10. Construcţia polilor principali :
1 — miezul masiv ; 2 — piesă polară din tole

Jugul se execută din fontă, oţel turnat, sau oţel laminat şi sudat. La maşinile sincrone mici se foloseşte uneori o construcţie mai simplă, în care jugul se toarnă dintr-o singură bucată cu poli (fig. 2-11, *a*).

Polii rotorului se pot executa în trei moduri : *complet masivi, în întregime din tole*, sau *avînd numai piesa polară executată din tole*. Prinderea polilor de jug se face la toate aceste sisteme în mod asemănător. Polii masivi se execută aproape totdeauna din oţel turnat şi foarte rar din fontă, iar forma lor este de cele mai multe ori dreptunghiulară, cu muchii rotunjite. Polii executaţi din tole (fig. 2-11, *b*) sînt ştanţaţi din tablă de oţel de 1—1,5 mm, şi uneori chiar de 2 mm grosime. Tolele sînt împachetate separat între două plăci de strîngere, cu grosimea de 6—12 mm. Rotoarele turbogeneratoarelor cu viteza de 3 000 sau 1 500 rot/min constituie o categorie constructivă complet separată, din cauza eforturilor considerabile produse de forţele centrifuge ; modurile de construcţie arătate mai sus nu mai pot fi aplicate în acest caz.

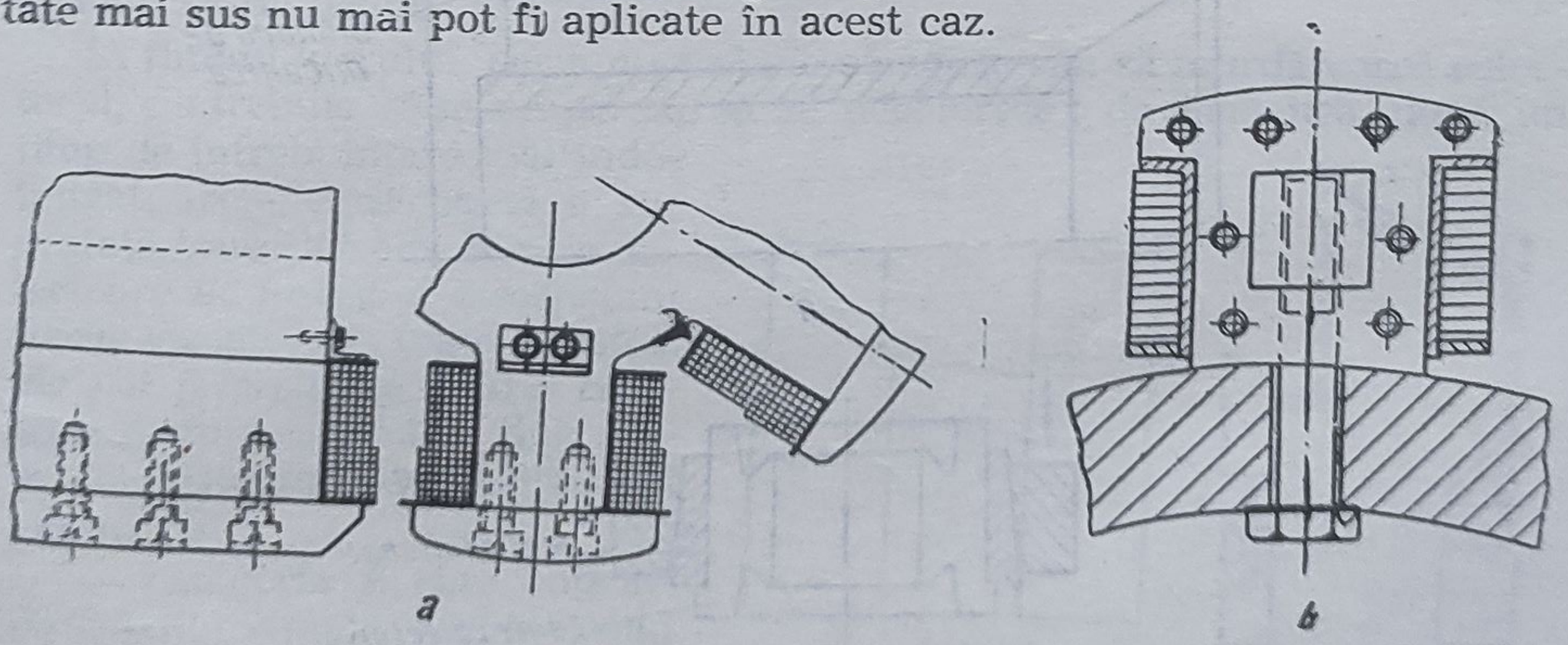


Fig. 2-11 Rotor :
a — cu poli turnaţi dintr-o bucată cu jugul ; b — cu poli executaţi din tole, fixaţi prin buloane.

c. Colectorul și inelele colectoare

● La mașinile de curent continuu, **colectorul** are un rol esențial în funcționarea acestor mașini. El *se compune* (fig. 2-12, *a*) *dintr-o serie de lamele izolate între ele și față de butucul colectorului*. Lamelele sînt executate din cupru electrolitic tras la rece. Profilul lamelelor este trapezoidal și necesită o mare precizie la execuție.

Ca *izolație între lamele* poate fi întrebuințată numai micanita specială de colector, presată bine și conținînd o cantitate mică de liant (4—6% șelac).

Lamelele de cupru și straturile de micanită, în numărul necesar mașinii respective, se asamblează în formă de cerc și se presează cu ajutorul a două inele de oțel, dintre care cel interior este secționat în mai multe părți, iar cel exterior este întreg (fig. 2-12, *b*).

Izolarea lamelelor colectorului față de bucșa colectorului se face cu manșoane speciale de micanită.

La mașinile mici se folosesc colectoare cu lamelele fixate în masă plastică. Un astfel de colector nu poate fi demontat și reparat. În caz de defectare, se desfac legăturile și colectorul se schimbă.

Legarea înfășurărilor la colector, la mașinile mici cu conductoare subțiri se face introducînd în creasta lamelei cele două conductoare răsucite și cositorindu-le.

La mașinile mari, cu bobinele confecționate din conductoare mai groase sau din bare, legarea înfășurării la colector se face cu ajutorul unor piese intermediare, numite „steaguri“.

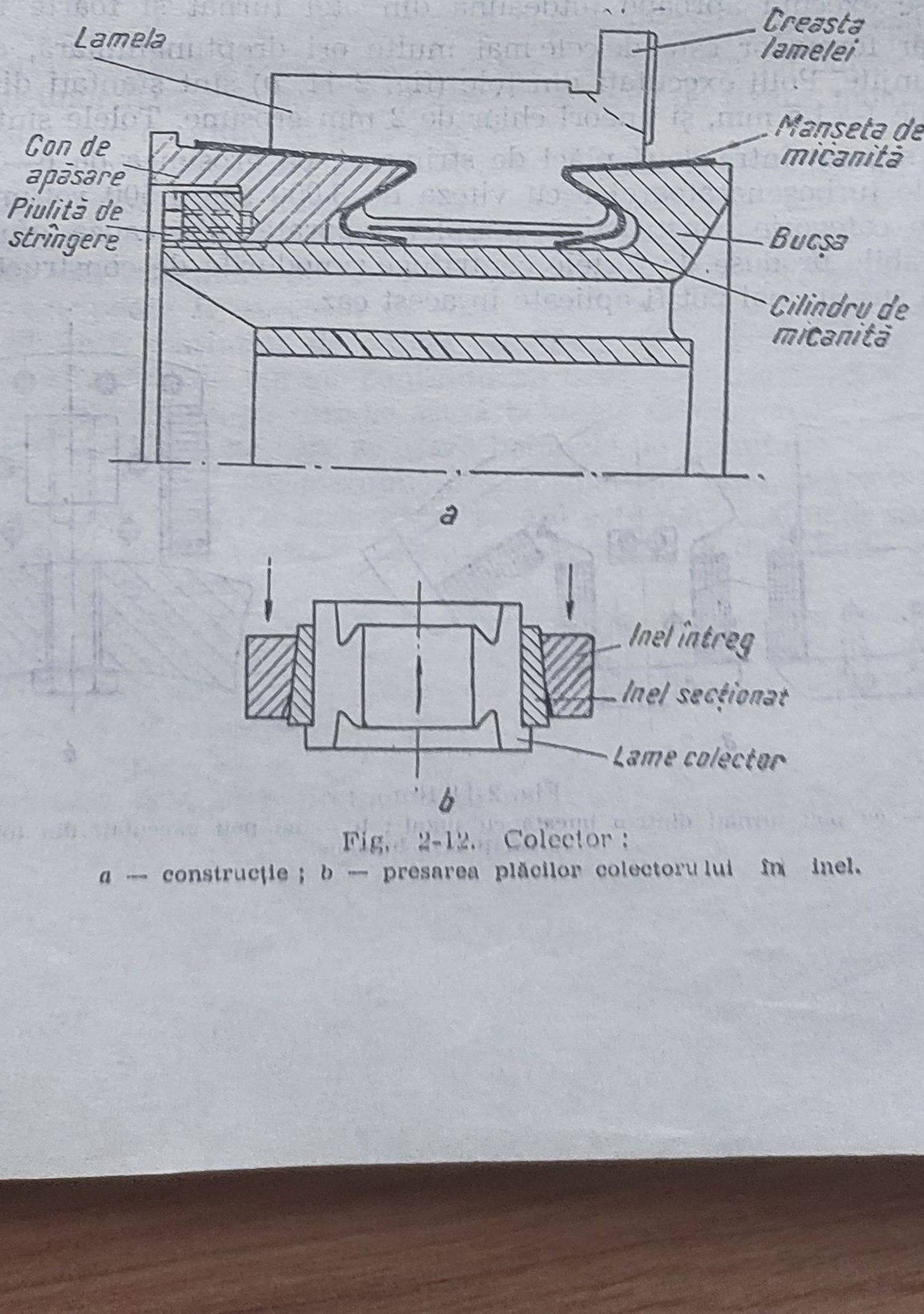


Fig. 2-12. Colector :
a — construcție ; *b* — presarea plăcilor colectorului în inel.

La motoarele asincrone cu rotorul bobinat și la mașinile sincrone, **inelele colectoare** realizează legătura electrică între înfășurarea rotorică și perii. *Ansamblul dispozitivului de contact* se compune din : *bucșă*, *inele* (două sau trei), *izolație*, *borne de legătură* între înfășurarea rotorică și inele.

După modul de construcție, se deosebesc : **inele presate pe bucșe** și **inele fixate cu buloane.**

La inelele presate pe bucșă, izolația dintre inele și bucșă este făcută din micanită sau din preșpan. În fiecare inel se înșurubează o bornă. Izolația bornelor, la trecerea prin celelalte inele, este realizată cu tuburi de micanită sau de pertinax. Inelele se confecționează în general din bronz, iar la mașinile mari — din inele de oțel cu o coroană de cupru.

La inelele de diametru mare, bucșa plină ar fi grea de aceea ele se montează pe o stea de fontă și se strîng cu buloane, care se izolează față de inele prin tuburi izolante.

d. Periile, portperiile și ridicătoarele de perii

Periile mașinilor electrice stabilesc legătura între inelele de contact sau colectoare și circuitele exterioare. Periile trebuie să satisfacă o serie de *condiții*, dintre care cele mai importante sînt :

— să se uzeze într-un timp cît mai lung ;
— să uzeze cît mai puțin colectorul sau inelele de contact ;
— să aibă un coeficient de frecare cît mai mic ;
— să producă o cădere de tensiune cît mai mică.

La mașinile electrice se folosesc în mod aproape exclusiv perii de cărbune grafitat sau de cărbune metalizat. Forma și dimensiunile periilor de cărbune pentru mașini electrice au fost standardizate. Materialul periilor trebuie să fie omogen, periile nu trebuie să aibă crăpături sau defecte vizibile cu ochiul liber, iar muchiile fețelor laterale ale periilor trebuie să fie teșite.

În timpul lucrului, peria nu trebuie să zgîrie sau să murdărească colectorul, nu trebuie să se crape sau să se decoloreze ; de asemenea, după un timp de întrebuințare mai îndelungat, trebuie să capete o suprafață bine șlefuită. Periile colectoare au forme și dimensiuni foarte variate. Cu toate acestea, *ele pot fi împărțite în trei categorii* distincte, dacă se ține seama de sistemul de canalizare a curentului :

— categoria A, care cuprinde periile simple, fără cablu conductor și fără armături (fig. 2-13, *a*) ;

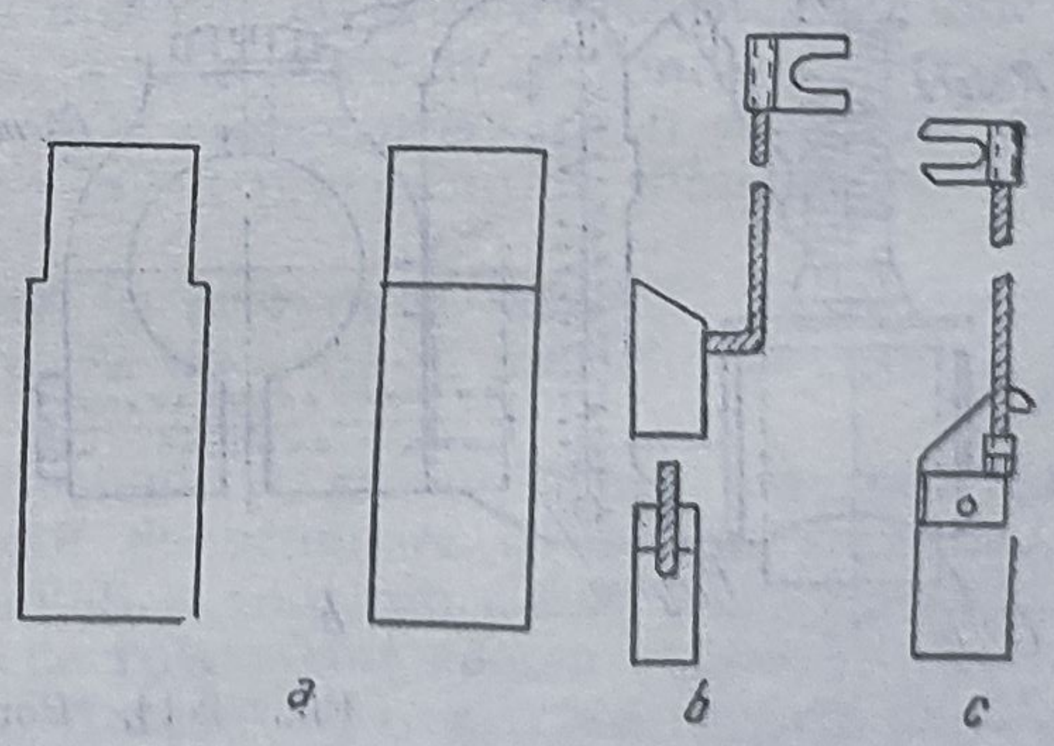


Fig. 2-13. Perii pentru mașini electrice.

— categoria B, care cuprinde periile fără armături însă cu cablul flexibil conductor fixat, cu sau fără nituire, în corpul periei (fig. 2-13, *b*) ;

— categoria C, care cuprinde periile cu armături cu sau fără cablu flexibil (fig. 2-13, *c*).

Forța de apăsare pe perie este dată printr-un arc care acționează direct pe perie sau prin intermediul unor pîrghii. Această apăsare trebuie să se transmită foarte elastic, fără întepeniri sau întreruperi.

● Periile mașinilor electrice sînt susținute și fixate în poziție normală de funcționare de niște dispozitive speciale, denumite **portperii.** Portperiile sînt de mai multe *tipuri* :

— port-perii la care peria are o poziție fixă în locașul său (fig. 2-14, *a*). Această construcție este folosită aproape exclusiv numai la inelele de contact ale mașinilor asincrone și sincrone. Din figură se observă că peria *1* nu alunecă din locașul suportului, ci este fixată rigid cu ajutorul șurubului *2*, la extremitatea pîrghiei *3*. Această pîrghie se rotește în jurul piesei *4*, solidară cu tija portperiei, și este apăsată pe inelul de contact prin arcul *5*. Presiunea arcului se reglează cu ajutorul piuliței *6*. Curentul se transmite de la perie, printr-un cablu flexibil de cupru *7*, la piesa *4*, iar de la aceasta, prin cablul *8*, trece la borne.

— portperii care dau periei o poziție radială pe suprafața colectorului, permițînd deplasarea liberă a acesteia în locașul portperiei (fig. 2-14, *b* și *c*). Se folosesc la mașinile care se rotesc în ambele sensuri ;

— port-perii denumite port-perii cu reacție care dau periei o po-

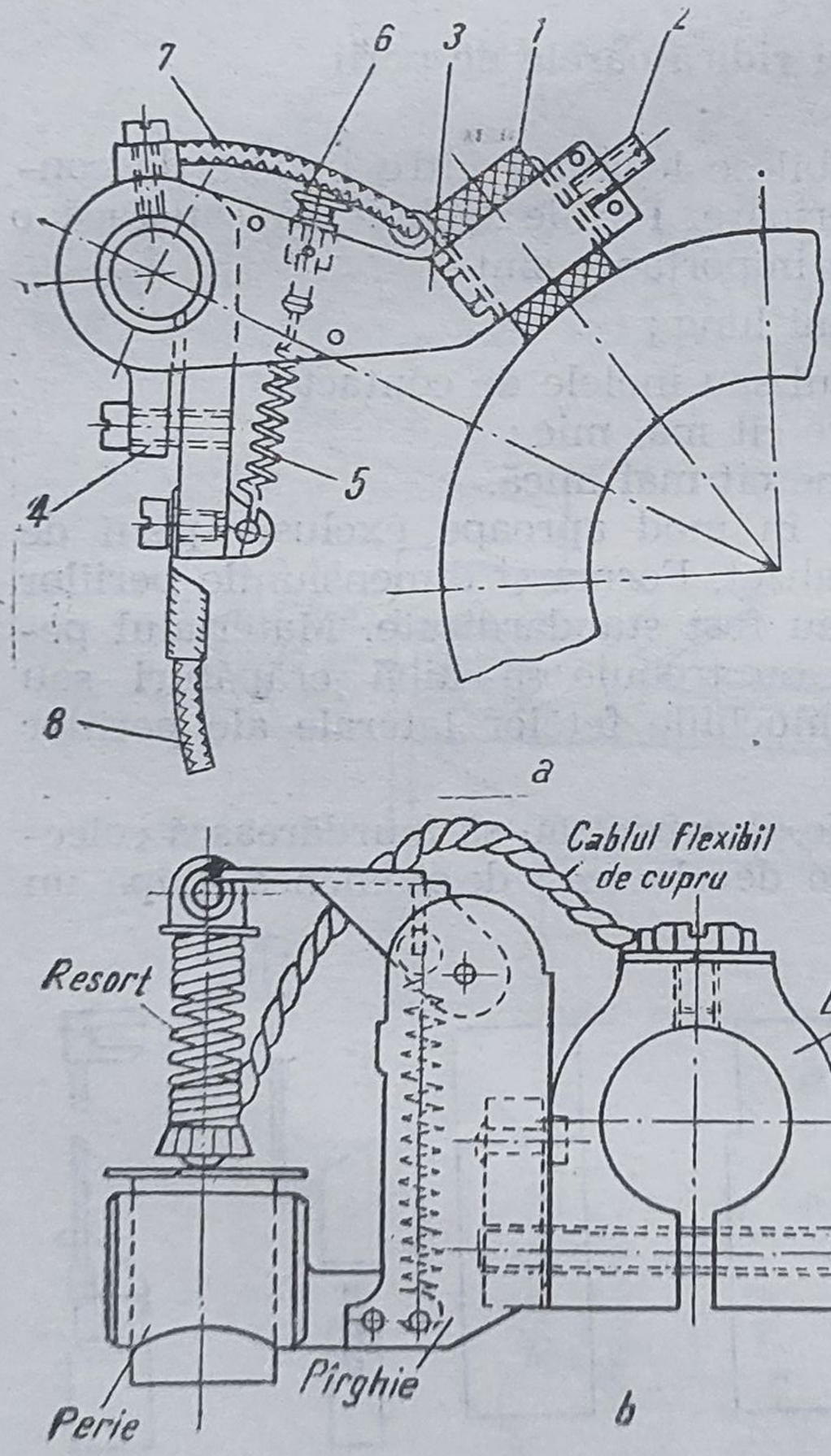


Fig. 2-14. Portperii :
a — cu poziție fixă a periei ; *b* — radială, fixată pe tijă printr-un braț ; *c* — radială, fixată direct pe suport.

ziţie înclinată faţă de raza colectorului permiţîndu-i să se deplaseze liber în locaşul său. Se utilizează la maşinile care funcţionează numai într-un singur sens de rotaţie.

Portperiile se fixează pe tijele portperiilor, care la rîndul lor se fixează pe o traversă.

Inelele de contact ale maşinilor de puteri mari, la care bobinajele rotorului se scurtcircuitează după terminarea perioadei de pornire, sînt prevăzute cu **dispozitive speciale care realizează scurtcircuitarea bobinajului rotoric şi apoi ridicarea periilor** (pentru eliminarea uzurii inutile).

e. **Arborele motorului (axul)**

Arborele are rolul de a susţine pachetul de tole al rotorului şi de a transmite cuplul motor la maşina pe care o antrenează. El trebuie să suporte greutatea rotorului, tracţiunea curelei de transmisie şi eforturile electrice dintre stator şi rotor. Arborele se confecţionează din oţel şi are o secţiune variabilă pe lungimea sa astfel încît să permită montarea diferitelor elemente pe el şi totodată să reziste în bune condiţii la încovoiere şi la răsucire.

În general, arborele are un singur capăt liber pentru fixarea roţii de curea. Pachetul rotoric, ventilatorul şi roata de curea se asamblează pe arbore prin pene.

Pentru uşurinţa exploatării, în sensul asigurării interschimbabilităţii roţilor de curea, capetele de ax pentru motoarele uzuale sînt standardizate.

Arborii se execută din oţel cu rezistenţă superioară (OL-50 sau aliaje speciale), laminat (diametre sub 150 mm) sau forjat.

f. **Lagărele**

Lagărele servesc ca reazeme ale organelor rotative ale maşinilor electrice. Dată fiind rotirea permanentă a arborelui, importanţa lagărelor este deosebit de mare în funcţionarea maşinilor electrice. Lagărele maşinilor electrice sînt supuse greutăţii rotorului, forţelor centrifuge ce se produc în cazul dezechilibrării rotorului, forţelor produse de atracţia magnetică unilaterală precum şi forţelor ce rezultă din transmiterea cuplului. Rolul de susţinere a greutăţii rotorului la maşinile cu arbore orizontal este îndeplinit de lagăre, iar la maşinile cu arbore vertical, de un lagăr special denumit crapodină. Atît *lagărele*, cît *şi crapodinele, pot fi prevăzute cu cuzineţi* cu frecare de alunecare *sau* pot fi prevăzute cu *rulmenţi pe bile sau pe role*, cu frecare de rulare.

În ce priveşte ungerea lagărelor, în prezent se foloseşte fie ungerea cu unsoare consistentă la maşini foarte mici, fie în majoritatea cazurilor, ungerea cu ulei.

Lagărele de rulare folosesc ca elemente de rulare, pentru transmiterea sarcinii, bile sau role. După modul de acţionare a sarcinii suportate, rulmenţii se împart în rulmenţi radiali şi rulmenţi axiali. Spre deosebire de lagărele de alunecare, lagărele de rulare sînt adesea executate astfel, încît, pe lîngă sarcina radială, pot să suporte şi o oarecare sarcină axială.

ziţie înclinată faţă de raza colectorului permiţîndu-i să se deplaseze liber în locaşul său. Se utilizează la maşinile care funcţionează numai într-un singur sens de rotaţie.

Portperiile se fixează pe tijele portperiilor, care la rîndul lor se fixează pe o traversă.

Inelele de contact ale maşinilor de puteri mari, la care bobinajele rotorului se scurtcircuitează după terminarea perioadei de pornire,sînt prevăzute cu **dispozitive speciale care realizează scurtcircuitarea bobinajului rotoric şi apoi ridicarea periilor** (pentru eliminarea uzurii inutile).

e. Arborele motorului (axul)

Arborele are rolul de a susţine pachetul de tole al rotorului şi de a transmite cuplul motor la maşina pe care o antrenează. El trebuie să suporte greutatea rotorului, tracţiunea curelei de transmisie şi eforturile electrice dintre stator şi rotor. Arborele se confecţionează din oţel şi are o secţiune variabilă pe lungimea sa astfel încît să permită montarea diferitelor elemente pe el şi totodată să reziste în bune condiţii la încovoiere şi la răsucire.

În general, arborele are un singur capăt liber pentru fixarea roţii de curea. Pachetul rotoric, ventilatorul şi roata de curea se asamblează pe arbore prin pene.

Pentru uşurinţa exploatării, în sensul asigurării interschimbabilităţii roţilor de curea, capetele de ax pentru motoarele uzuale sînt standardizate.

Arborii se execută din oţel cu rezistenţă superioară (OL-50 sau aliaje speciale), laminat (diametre sub 150 mm) sau forjat.

f. Lagărele

Lagărele servesc ca reazeme ale organelor rotative ale maşinilor electrice. Dată fiind rotirea permanentă a arborelui, importanţa lagărelor este deosebit de mare în funcţionarea maşinilor electrice. Lagărele maşinilor electrice sînt supuse greutăţii rotorului, forţelor centrifuge ce se produc în cazul dezechilibrării rotorului, forţelor produse de atracţia magnetică unilaterală precum şi forţelor ce rezultă din transmiterea cuplului. Rolul de susţinere a greutăţii rotorului la maşinile cu arbore orizontal este îndeplinit de lagăre, iar la maşinile cu arbore vertical, de un lagăr special denumit crapodină. Atît *lagărele*, cît *şi crapodinele, pot fi prevăzute cu cuzineţi* cu frecare de alunecare *sau* pot fi prevăzute cu *rulmenţi pe bile sau pe role,* cu frecare de rulare.

În ce priveşte ungerea lagărelor, în prezent se foloseşte fie ungerea cu unsoare consistentă la maşini foarte mici, fie în majoritatea cazurilor, ungerea cu ulei.

Lagărele de rulare folosesc ca elemente de rulare, pentru transmiterea sarcinii, bile sau role. După modul de acţionare a sarcinii suportate, rulmenţii se împart în rulmenţi radiali şi rulmenţi axiali. Spre deosebire de lagărele de alunecare, lagărele de rulare sînt adesea executate astfel, încît, pe lîngă sarcina radială, pot să suporte şi o oarecare sarcină axială.

La mașini mici și mijlocii și chiar la mașini mari (pînă la 200 kW) se folosesc rulmenți, deoarece aceștia prezintă numeroase avantaje față de lagărele cu cuzineți.

Unul dintre cele mai importante avantaje ale rulmenților constă în posibilitatea folosirii pentru ungere a unsorii consistente. Cutia rulmentului nu trebuie să fie plină cu unsoare, deoarece prin rotație se produc încălziri suplimentare, care determină dilatarea unsorii. De aceea, volumul unsorii se recomandă să nu depășească jumătate din volumul casetei. Curățirea de unsoare veche și înlocuirea cu unsoare proaspătă se face la circa 1 500—2 000 de ore de funcționare, însă cel puțin o dată la doi ani, după spălarea rulmenților cu benzină.

g. **Bornele și cutiile de borne**

La mașinile electrice, numărul bornelor depinde de felul mașinii. Astfel, la un motor asincron trifazat cu rotorul în colivie se scot șase borne pe o placă din material izolant, așezate într-o cutie specială, numită cutie de borne și care se află fixată pe carcasa mașinii. Deși, în general, ar fi suficient să se scoată trei borne, se scot toate capetele bobinelor de la cutia de borne, pentru a putea folosi motorul la tensiuni diferite, prin legarea bobinelor în stea sau triunghi. Trecerea capetelor bobinelor prin carcasă se face de obicei prin tuburi de material izolant. La motoarele mici, nu se mai fac borne speciale și capetele bobinelor sînt prevăzute numai cu papuci de cablu. Dacă motorul are inele sau colector, va avea încă două sau trei borne, așezate într-o altă cutie de borne în vecinătatea inelelor.

Cutia de borne are o construcție potrivită carcasei și tipului de protecție a motorului. Ea trebuie să asigure o protecție corespunzătoare bornelor și posibilitatea montării cablurilor de alimentare a motorului. Marcarea bornelor se face conform STAS 3530-67.

Marcarea bornelor la mașinile de curent continuu se face astfel încît mașina funcționînd ca motor și rotindu-se spre dreapta, curentul să circule în toate bobinele de la începutul spre sfîrșitul lor. Începuturile și sfîrșiturile bobinajelor mașinilor de curent alternativ se marchează folosind simbolurile literale, conform STAS.

Inelele colectoare ale rotoarelor motoarelor asincrone sînt marcate cu aceleași litere ca și capetele bobinelor la care sînt legate și sînt așezate în ordinea succesiunii alfabetice a literelor, inelul marcat cu *a* fiind cel mai depărtat de bobinaj. Bornele bobinajelor compuse (duble-triple) sau secționate se marchează cu aceleași litere ca și bornele bobinajelor simple, adăugîndu-se o cifră înaintea literelor respective.

4. BOBINAJUL MAȘINILOR ELECTRICE

Din punctul de vedere al procesului de execuție se deosebesc : bobine pentru introdus în crestături și bobine polare, care se montează pe poli.

Bobinele pentru introdus în crestături se clasifică la rîndul lor în :

— bobine din sîrmă, care au, în general un număr mare de spire și se înfășoară pe șabloane de bobinaj ;

— bobine rigide sau bobine în bare, care au una sau cîteva spire.

Cunoașterea lucrărilor de execuție a bobinajelor are importanță în cazul cînd apare necesitatea reparării sau rebobinării.

Elementele din care sînt constituite bobinajele, sînt *conductoarele și izolația*.

● **Conductoarele** se execută în general, din cupru electrolitic și, mai rar, din aluminiu. Ele pot avea secțiunea rotundă, pătrată sau dreptunghiulară, cu muchiile rotunjite, pentru a nu tăia izolația.

● Cele mai importante **materiale folosite la fabricarea izolației bobinajelor** sînt : *pentru temperaturi înalte*, mica, azbestul și sticla, iar *pentru temperaturi normale*, produse textile, în special bumbacul și mătasea, hîrtia, cauciucul, rășini naturale (șelacul), rășini artificiale (bachelită, mase plastice etc.).

Izolarea elementelor bobinajelor este de o deosebită importanță, deoarece o izolare necorespunzătoare pentru tensiunea de serviciu, temperatura sau mediul în care lucrează mașina poate duce la o distrugere rapidă a înfășurării.

● **Izolarea conductoarelor** se face ținînd seama de tensiunea pe spiră, care în general este de ordinul a 10—20 V. De aceea, în general, este suficientă o izolare a conductorului cu o înfășurare dublă cu fir de bumbac. Se folosesc și conductoare izolate cu lac email de diferite categorii (poliamidic, tereftalic, epoxi etc.), cu un strat de email și o înfășurare de mătase, cu un strat de email și o înfășurare de bumbac, cu o înfășurare de mătase cu două înfășurări de mătase, cu o înfășurare de bumbac, cu o împletitură de bumbac.

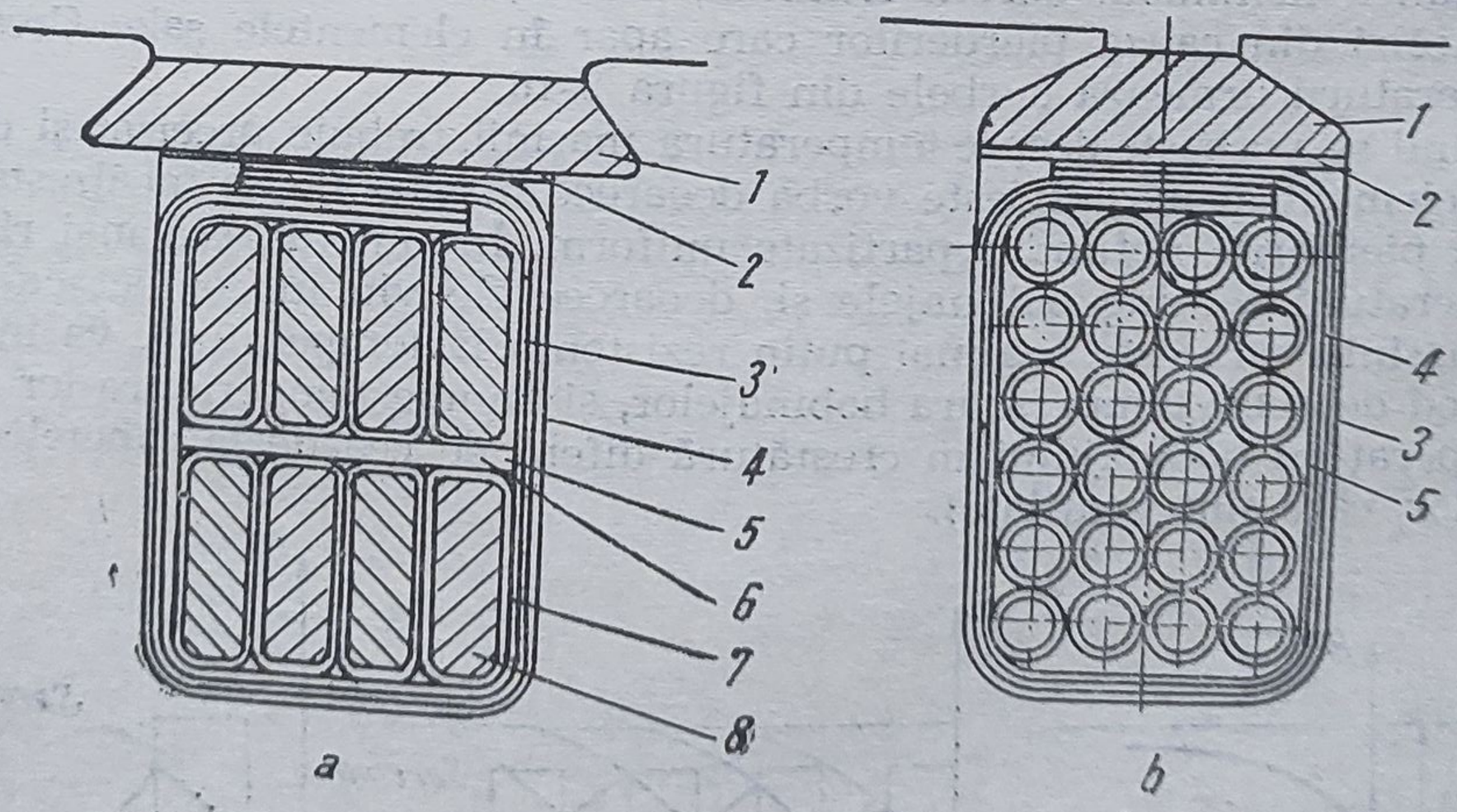


Fig. 2-15. Izolarea bobinajului în crestătură :

a — izolarea unei crestături deschise la o mașină pînă la 500 V ; *b* — izolarea unei crestături semideschise la o mașină pînă la 500 V ; *1* — pană ; *2* — preșpan de 0,5 mm ; *3* — preșpan de 0,25 mm ; *4* — pînză uleiată de 0,2 mm ; *5* — preșpan de 0,25 mm ; *6* — preșpan de 1 mm ; *7* — bandă de bumbac de 0,15 mm ; *8* — conductor de cupru.

● **Izolarea bobinajului în crestătură** are ca scop să realizeze o izolare a mănunchiurilor de conductoare față de peretele metalic al crestăturii. Aceasta se poate face în două moduri :

— *prin izolarea crestăturii* cu preșpan, micanită, pînză uleiată etc. ;

— *prin îmbrăcarea mănunchiului* care se așază în crestătură cu un tub izolant de micanită, micafoliu sau bandă uleiată.

În mod curent, la mașinile cu tensiuni pînă la 500 V se face o izolație ca în figura 2-15.

— *Izolația crestăurii,* sau tubul izolant, depășește pachetul de tole cu cel puțin 10 mm la tensiuni joase, și cu lungimi mai mari la tensiuni înalte. Dacă bobinajul este executat în mai multe straturi pe crestătură, între straturi se așază o izolație de grosime corespunzătoare tensiunii nominale a mașinii. Sub pana de lemn se așază o bandă de preșpan de 0,3—0,5 mm, pentru a nu lovi izolația la introducerea penei.

— *Izolarea capetelor de bobină* se realizează astfel :

Se bandajează capetele de bobină cu bandă de bumbac, cu pînză uleiată sau cu bandă de micanită. Apoi se așază capetele bobinelor în așa fel încît să existe distanțe apreciabile între bobinele diferitelor faze și între bobinaj și masă.

Izolarea bobinajelor mașinilor de înaltă tensiune prezintă, față de cele descrise mai sus, o serie de particularități.

C. VENTILAȚIA MAȘINILOR ELECTRICE

1. ÎNCĂLZIREA MAȘINILOR ELECTRICE

O mașină electrică conectată la rețea și funcționînd în regim nominal (tensiunea nominală, curent nominal, frecvență nominală, cos φ dat) se va încălzi din cauza pierderilor care apar în elementele sale. Creșterea temperaturii urmează curbele din figura 2-16.

Cînd se vorbește despre temperatura mașinii, trebuie precizat și despre care element al mașinii este vorba deoarece mașina nu se încălzește uniform, pierderile nefiind repartizate uniform. În general, cea mai ridicată temperatură o ating bobinajele și, deoarece ele vin în contact cu izolația mașinii, care este cea mai puțin rezistentă la temperatură, va interesa în mod deosebit temperatura bobinajelor, și anume temperatura lor medie (temperatura bobinajului în crestătură diferă de cea de la capetele bobinajelor, care sînt ventilate).

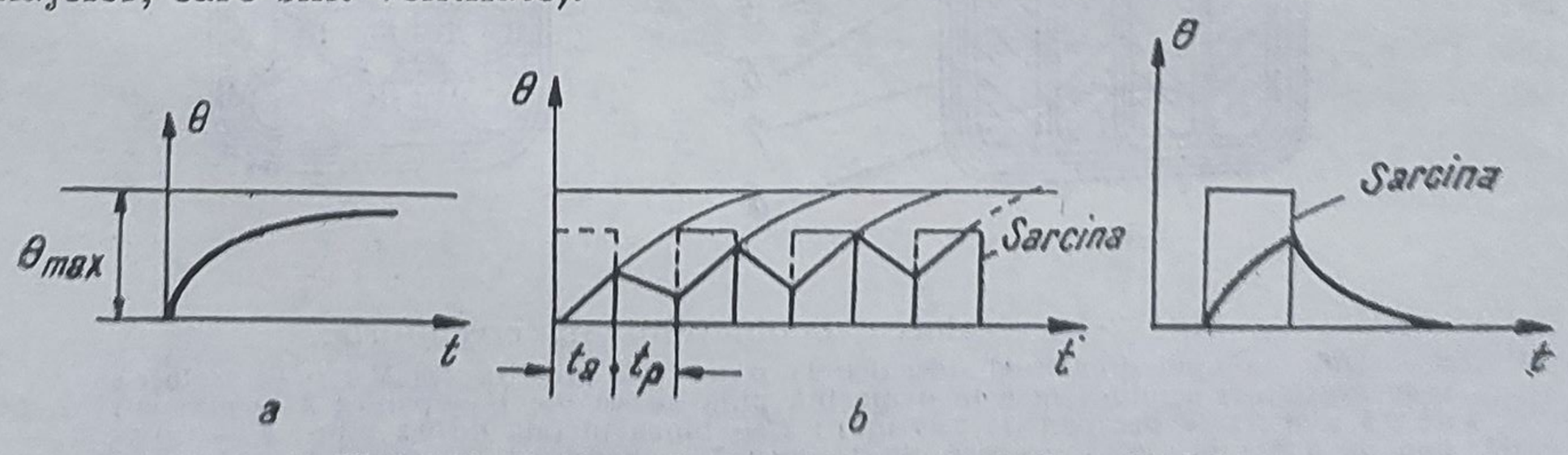


Fig. 2-16. Curbele de încălzire a mașinilor electrice :
a — regim de lungă durată ; *b* — regim intermitent ; *c* — regim de scurtă durată.

La începutul unei perioade de funcţionare a maşinii, temperatura creşte repede ; diferenţa de temperatură dintre maşină şi mediu fiind aproape nulă, cedarea de căldură către exterior este redusă. Cînd maşina se încălzeşte şi această diferenţă creşte, se îmbunătăţeşte cedarea de căldură către mediu şi temperatura creşte din ce în ce mai încet. În acest timp, în interiorul maşinii se produce o oarecare uniformizare a temperaturii prin conducţia căldurii de la părţile cele mai calde (bobinaj, tole) spre cele mai reci (părţile mecanice), diferenţele de temperatură, atingînd totuşi 15—40°C.

După un timp oarecare de funcţionare, temperatura creşte foarte puţin, curba de variaţie a temperaturii tinzînd spre o valoare de regim, la care căldura produsă în maşină este egală cu cea evacuată.

Practic, pentru maşinile pînă la 100 kW sînt necesare 4—6 ore de funcţionare continuă pentru stabilizarea temperaturii.

● Încălzirea depinde de variaţia în timp a încărcării maşinii electrice. Din acest punct de vedere, se deosebesc următoarele **regimuri de funcţionare :**

— *regim de lungă durată*, caracterizat prin aceea că maşina funcţionează un timp suficient de îndelungat cu sarcină constantă, aşa încît temperatura sa atinge valoarea temperaturii de regim (fig. 2-16, *a*) ;

— *regim de scurtă durată*, caracterizat prin aceea că maşina funcţionează un anumit timp cu sarcină constantă, iar apoi funcţionarea se întrerupe un timp suficient de lung pentru ca temperatura să scadă pînă la valoarea temperaturii mediului ambiant. Acest regim este caracterizat prin durata periodei de lucru t_a *(fig. 2-16, b)* ;

— *regim intermitent*, caracterizat prin succesiunea regulată a perioadelor de funcţionare şi de repaus. Acest regim este caracterizat prin durata de lucru D_A, definită în modul următor :

$$D_A = \frac{t_a}{t_a + t_p} \cdot 100\%$$

în care t_a este timpul de funcţionare şi t_p — durata pauzei (fig. 2-16, *c*).

Sînt standardizate regimuri de funcţionare caracterizate prin valori ale duratei de lucru de 25%, 40%, 60%. Regimul de lungă durată este caracterizat prin $D_A = 100\%$.

2. SISTEME DE VENTILAŢIE A MAŞINILOR ELECTRICE

Se ştie că puterea nominală a unei maşini electrice depinde numai de încălzire şi se defineşte numai în raport cu acest fenomen. Ca atare, problema răcirii maşinilor electrice este de o deosebită importanţă.

Sistemele de răcire a maşinilor electrice se împart în două categorii : *sisteme de răcire naturală şi sisteme cu răcire forţată.*

● Prin **răcire naturală** se înţelege sistemul de răcire care, pentru a transmite mediului exterior căldura provenită din pierderi, foloseşte numai conductivitatea şi convecţia naturală. Ea este însă insuficientă şi se foloseşte numai la maşini mici.

La mașinile mijlocii și mari se face răcire forțată care constă în suflarea unui curent de aer peste suprafețele radiante ale mașinii.

Mașini cu autoventilație interioară sînt acelea la care răcirea pieselor active se face printr-un ventilator sau prin aripioare fixate pe rotor.

Mașini cu autoventilație exterioară sînt acelea la care părțile active ale mașinii nu sînt răcite prin vreo metodă specială. Ele transmit căldura carcasei și scuturilor prin conductivitate sau, parțial prin convecție naturală. Suprafața exterioară a mașinii se mărește în aceste cazuri prin crearea unor onduleuri și este uneori răcită cu ajutorul unui ventilator, așezat pe axul mașinii.

Mașinile cu autoventilație mixtă necesită o combinație a sistemelor arătate mai sus. Acest sistem de ventilație se folosește în cazul mașinilor capsulate, avînd avantajul unei mai bune transmisii de căldură de la părțile active ale mașinii la piesele exterioare.

● **Răcirea forțată** se face în circuit deschis sau închis. În primul caz se absoarbe aerul din atmosferă și se trece pe lîngă părțile calde ale mașinii, iar apoi este redat cald, în atmosferă ; în al doilea caz, aerul cald este răcit artificial și reintrodus în circuitul de ventilație, ceea ce face ca impuritățile ce se depun să fie mai puține. La instalațiile de răcire forțată se mai utilizează și alte gaze, ca de exemplu hidrogen, care necesită instalații speciale, dar are o eficacitate sporită.

D. PIERDERILE ȘI RANDAMENTUL MAȘINILOR ELECTRICE

Evaluarea pierderilor unei mașini electrice și, implicit, a randamentului său, prezintă o deosebită importanță, pierderile conducînd la încălzirea diferitelor părți ale mașinii. Se știe că puterea unei mașini este limitată de încălzirea sa, care să nu trebuie să depășească anumite valori, impuse de calitatea materialelor folosite și, în primul rînd, de materialele izolante.

1. PIERDERI ÎN FIER

În cel puțin una dintre armăturile unei mașini electrice, ca și în transformatoare, oțelul este magnetizat periodic. Pentru această magnetizare se consumă energie, care se transformă în căldură ; puterea consumată constituie pierderile în fier.

Pentru evaluarea pierderilor în fier se folosesc **pierderile specifice,** adică *pierderile dezvoltate prin magnetizare alternativă într-un kilogram de fier.*

Pierderile în fier se împart în *pierderi histerezis* și *pierderi prin curenți turbionari.*

● **Pierderile prin histerezis** sînt independente de grosimea tablei de fier și depind, evident, de valorile inducției B, de frecvență și de material.

● **Pierderile prin curenți turbionari** sînt provocate de curenții care se induc în fier la magnetizare periodică (curenții Foucault). Mărimea acestor pierderi este invers proporțională cu rezistivitatea materialului și direct proporțională cu pătratul grosimii tablei, al frecvenței f și al inducției B.

2. PIERDERILE PRIN FRECĂRI (PIERDERI MECANICE)

Pierderile prin frecări sînt datorite atît frecărilor în lagăr, cît și frecării rotorului cu aerul în timpul rotirii (pierderi prin ventilație).

● **Pierderile în lagăre** depind de natura lagărelor.

● **Pierderile prin ventilație** (pierderile prin frecare cu aerul) sînt reprezentate în mare măsură de puterea de ventiație necesară ventilatorului mașinii, indiferent că este un ventilator special sau este chiar rotorul mașinii ; ele depind de debitul de aer și de viteza periferică a ventilatorului.

● **Pierderile mecanice la perii,** de mai mică importanță, depind de suprafața periilor și de presiunea lor, ca și de viteza colectorului și de coeficientul de frecare.

3. PIERDERI OHMICE ÎN' BOBINAJE (PIERDERI ÎN CUPRU) ȘI PIERDERI SUPLIMENTARE

● **Pierderi în cupru.** Se știe că la trecerea curentului cu valoarea eficace I printr-un conductor care are rezistența ohmică R, se produc pierderile :

$$P_j = RI^2 \ [W].$$

În curent alternativ, cînd curentul variază în timp, repartiția curentului nu mai este uniformă în secțiunea conductorului. Este ca și cum secțiunea conductorului s-ar micșora, adică i-ar crește rezistența și, implicit pierderile ohmice. Rezistența reală fiind R_r, pierderile se vor majora în raportul :

$$k_R = \frac{R_r \cdot I^2}{R \cdot I^2} = \frac{R_r}{R},$$

k_R fiind numit *factor de majorare a rezistenței în curent alternativ*.

Pierderile electrice la perii sînt egale cu produsul $\Delta U_p \cdot I$ unde ΔU_p este căderea de tensiune la perii, aproximativ egală cu 2V la periile obișnuite de cărbune. Pierderile electrice la perii devin atunci $2I$ [W].

● **Pierderile suplimentare** apar în regim de sarcină și sînt provocate de cîmpurile de scăpări ale rotorului.

4. RANDAMENTUL

Randamentul unei mașini electrice este raportul între puterea furnizată și puterea primită.

Randamentul este deci :

— *pentru generator :*

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p},$$

în care : P_2 este puterea electrică produsă de generator ;
P_1 — puterea mecanică primită ;
Σ_p — suma pierderilor în generator (pierderi în fier + pierderi în cupru + pierderi mecanice + pierderi suplimentare) ;

— *pentru motor :*

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma p} = \frac{P_1 - \Sigma p}{P_1},$$

în care : P_1 este puterea absorbită de la rețea ;
P_2 — puterea furnizată la arbore ;
Σ_p — suma pierderilor în motor.

E. MAȘINA ASINCRONĂ TRIFAZATĂ

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

● **Dacă la o mașină asincronă cu inele se întrerupe circuitul rotoric, statorul fiind alimentat de la rețea,** în mașină va exista numai fluxul produs de stator, datorită curentului absorbit din rețea. Liniile de cîmp sînt indicate în figura 2-17, *a*. Cea mai mare parte a acestor linii trece prin stator, întrefier și rotor, înlănțuind bobinajul rotoric ; ele formează fluxul principal (util sau inductor) Φ. O parte din linii se închid numai în jurul conductoarelor statorului, fără a înlănțui bobinajul rotoric ; aceste linii formează fluxul de scăpări al statorului Φ_{s1}.

După cum se știe, cîmpul produs de un bobinaj trifazat este un cîmp învîrtitor. S-a arătat că viteza unghiulară Ω a acestui cîmp depinde numai de frecvența curenților din bobinaj și de numărul de perechi de poli, avînd valoarea dată de relația :

$$\Omega = \frac{\omega}{p},$$

în care ω este pulsația curenților, iar p — numărul perechilor de poli. Deoarece pulsația curenților este egală cu pulsația rețelei de alimentare,

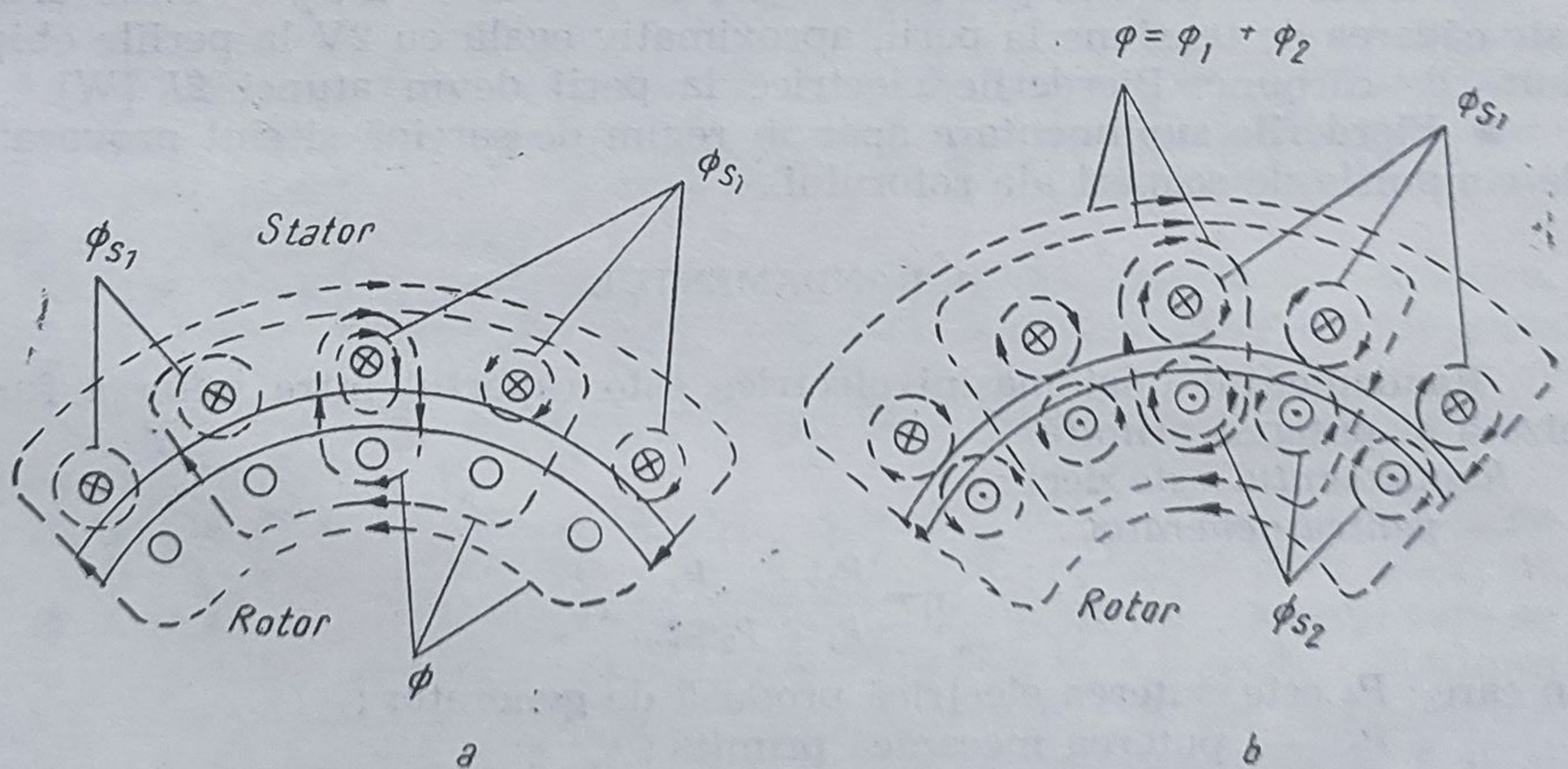


Fig. 2-17. Fluxurile produse în mașina asincronă :
a — la funcționare cu circuit rotoric deschis ; *b* — la funcționarea în sarcină.

se poate scrie $\omega = 2\pi f$, în care f este frecvența rețelei. Exprimînd *viteza cîmpului învîrtitor* n_0 în rotații pe minut, se va obține pentru această viteză valoarea :

$$n_0 = \frac{60}{2\pi}\,\Omega = \frac{60}{2\pi}\cdot\frac{\omega}{p} = \frac{60}{2\pi}\cdot\frac{2\pi f}{p} = \frac{60f}{p}\ [\text{rot/min}].$$

Această viteză se numește *viteză de sincronism*. Deoarece frecvența are, în mod obișnuit, valoarea constantă $f=50$ Hz, rezultă că viteza de sincronism depinde practic numai de numărul perechilor de poli.

Cîmpul învîrtitor inductor Φ, rotindu-se taie atît conductoarele bobinajului statoric, cît și conductoarele bobinajului rotoric, cu aceeași viteză, deci va induce tensiuni electomotoare în ambele bobinaje, ca în orice transformator.

În consecință, în acest regim, deosebirea între mașina asincronă și transformator constă în faptul că, în timp ce în mașina asincronă cîmpul este învîrtitor, în transformator cîmpul este alternativ pulsator.

● **Dacă mașina are rotorul scurtcircuitat** (sau are o anumită rezistență în rotor), datorită tensiunilor electromotoare care se induc în bobinajul rotoric acest bobinaj va fi parcurs de curenți (fig. 2-17, *b*). Între acești curenți și cîmpul magnetic se vor produce forțe care vor da naștere unui cuplu de rotație, astfel încît rotorul va începe să se rotească.

Viteza de rotație a rotorului trebuie să fie totdeauna diferită de viteza cîmpului învîrtitor. Dacă rotorul s-ar învîrti cu aceeași viteză ca și cîmpul magnetic al statorului, conductorii rotorului nu ar intersecta liniile cîmpului magnetic, în ei nu s-ar induce tensiune electromotoare, deci nu ar exista curent și nu ar putea apare cuplu.

— *Dacă la arborele motorului se aplică un cuplu rezistent*, rotorul se va roti în sensul cîmpului învîrtitor, cuplul motor fiind egal, dar de sens opus cuplului rezistent ; *mașina asincronă funcționează ca motor*, transformînd energia electrică în lucru mecanic, pentru învingerea cuplului rezistent la arbore.

— *Dacă*, dimpotrivă, *se aplică la arbore un cuplu motor*, viteza va crește peste valoarea de sincronism $n > n_0$, astfel încît în rotor se vor induce curenți care vor produce un cuplu rezistent egal dar de sens opus cu cuplul motor ; *mașina asincronă funcționează* în acest caz *ca* **generator**, transformînd lucrul mecanic în energie electrică.

● **Alunecarea**. După cum s-a văzut, rotorul are o viteză de rotație n_2 diferită de viteza de rotație $n_1 = n_0$ a cîmpului învîrtitor statoric.

Raportul dintre diferența vitezelor de rotație n_1 a cîmpului magnetic învîrtitor și n_2 a rotorului și n_1, se numește *alunecare* și se notează prin s, adică :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Alunecarea se exprimă adeseori în procente :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}\cdot 100\ [\%].$$

Astfel, *alunecarea caracterizează gradul de rămînere în urmă a rotorului în raport cu cîmpul magnetic învîrtitor.*

Mașinile în care rotorul se rotește cu o viteză n_2 diferită de viteza sincronă n_1, se numesc **mașini asincrone.**

La pornirea motorului, adică atunci cînd $n_2=0$, alunecarea va fi :

$$s=\frac{n_1-0}{n_1}=1.$$

Dacă rotorul s-ar roti cu viteză sincronă, adică dacă $n_2=n_1$, alunecarea ar fi :

$$s=\frac{n_1-n_2}{n_1}=\frac{0}{n_1}=0. \qquad (1)$$

Astfel, la creșterea vitezei de rotație de la zero ($n_2=0$) pînă la viteza sincronă *($n_2=n_1$), alunecarea variază de la 1 pînă la 0.*

Alunecarea motoarelor actuale, la sarcină nominală, este mică (aproximativ 3—6%).

În consecință, pentru $n<n_0$ (regim de motor) alunecarea variază între 1 (100%) și zero, iar pentru $n>n_0$ (regim de generator) ea devine negativă.

● **Curentul rotoric.** Viteza rotorului în funcție de alunecare este :

$$n_2=(1-s)n_1, \qquad \text{din (1)}$$

iar viteza relativă a cîmpului învîrtitor statoric față de rotor este :

$$n_s=n_1-n_2=sn_1. \qquad \text{(tot din (1))}$$

Dacă cîmpul magnetic are p perechi de poli, pentru fiecare rotație cu care rămîne în urmă rotorul, în orice conductor al rotorului vor avea loc p perioade complete de variație a t.e.m. induse de cîmpul magnetic. Într-o secundă, numărul perioadelor t.e.m. din înfășurarea rotorică va fi :

$$f_2=\frac{n_s\cdot p}{60}=\frac{n_1-n_2}{60}\cdot p=\frac{n_1-n_2}{n_1}\cdot\frac{pn_1}{60}=sf_1.$$

Prin urmare, *frecvența curentului rotoric este proporțională cu frecvența curentului statoric.*

La pornirea motorului, cînd $s=1$, $f_2=f_1$.

T.e.m. indusă în fiecare fază a rotorului la viteza n_2 (deci la frecvența f_2) de fluxul cîmpului învîrtitor Φ este :

$$E_{2s}=4{,}44\,f_2w_2k_2\Phi=4{,}44sf_1w_2k_2\Phi,$$

iar într-o fază a statorului :

$$E_1=4{,}44\,f_1k_1w_1\Phi,$$

unde k_1 și k_2 sînt factori subunitari, denumiți *factori de bobinaj*, care țin seama de anumite proprietăți ale bobinajelor, iar w_1 și w_2 — numărul de spire din înfășurările pe faze ale statorului, respectiv rotorului.

Dacă rotorul este imobil, $s=1$, și atunci t.e.m. indusă în rotor este :

$$E_2=4{,}44\,k_2 f_1 w_2 \Phi.$$

Deci, se poate scrie relația :

$$E_{2s}=sE_2.$$

Raportul

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{w_1}{w_2}\cdot\frac{k_1}{k_2}=\frac{U_1}{E_{20}}=k$$

se numește — ca la transformator — *raport de transformare,* și se definește cînd rotorul stă pe loc.

Presupunînd că înfășurarea rotorică are o inductivitate L_{2s}, se poate scrie expresia reactanței de scăpări :

$$X_{2s}=\omega_2 L_{2s}=2\pi f_2 L_{2s}=2\pi f_1 s L_{2s}.$$

Scriind reactanța de scăpări X_2 a rotorului în repaus ($s=1$),

$$X_2=2\pi f_1 L_{2s},$$

rezultă

$$X_{2s}=sX_2.$$

Aplicînd unei faze a înfășurării rotorice, de rezistență R_2 și inductivitate X_{2s}, legea lui Ohm, se obține valoarea curentului rotoric :

$$I_2=\frac{E_{2s}}{\sqrt{R_2^2+X_{2s}^2}}=\frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2+s^2\lambda_2^2}}=\frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2+X_2^2}}.$$

Acest curent produce un cîmp învîrtitor, căruia îi corespunde un flux Φ_2.

Cîmpul rotoric se învîrtește cu aceeași viteză de sincronism n_1 *ca și cîmpul statoric ;* cele două cîmpuri învîrtitoare produse de stator și rotor se compun într-un cîmp rezultant, căruia îi corespunde fluxul rezultant util Φ al mașinii funcționînd în sarcină.

În figura 2-17, *b* s-au notat cu Φ_1 și Φ_2 fluxurile care se închid prin stator, întrefier și rotor, produse de curentul statoric I_1, respectiv rotoric I_2, iar cu Φ_{s1} și Φ_{s2} — fluxurile de scăpări produse de cei doi curenți, fluxuri care se închid în cea mai mare parte prin aer în jurul conductoarelor.

2. PIERDERILE, RANDAMENTUL ȘI CUPLUL

● **Bilanțul energetic.** Mașina asincronă funcționînd în regim de motor, absoarbe de la rețea putera $P_1=3U_f I_f \cos\varphi$, din care o parte, $P_{Cu1}=3R_1 I$, se transformă în căldură prin efect Joule în înfășurarea trifazată statorică, iar o altă parte, P_{Fe1}, se transformă în căldură datorită pierderilor în fierul statoric. Puterea care a rămas

$$P=P_1-(P_{Cu_1}+P_{Fe_1})$$

reprezintă puterea transmisă de stator în rotor datorită cîmpului electromagnetic şi se numeşte *putere electromagnetică.* Această putere primită de rotor se împarte în două : o putere ($P_{Cu_2}=3R_2I_2^2$ şi P_{Fe_2}) se transformă în căldură în înfăşurarea trifazată rotorică şi în fierul rotoric, iar altă parte :

$$P_M=P-(P_{Cu_2}+P_{Fe_2})$$

se transformă în putere mecanică.

Deoarece frecvenţa cîmpului învîrtitor rotoric f_2 este redusă, nu se produc pierderi importante în fier, deci se poate considera $P_{Fe_2}=0$, şi deci

$$P_M=P-P_{Cu_2}=P_1-(P_{Cu_1}+P_{Cu_2}+P_{Fe_1}).$$

O parte din puterea mecanică P_M acoperă pierderile mecanice proprii ale maşinii P_m (frecări în lagăre, frecările rotorului cu aerul, pierderile ventilatorului), iar o altă parte, P_2, este cedată mecanismului antrenat de motor :

$$P_M=P_m+P_2$$

Bilanţul energetic al maşinii poate fi urmărit în figura 2-18.

Puterea mecanică P_M poate fi exprimată în funcţie de cuplul electromagnetic M produs de rotor şi de viteza unghiulară Ω_2 a rotorului, prin relaţia :

$$P_M=M\Omega_2, \text{ unde } \Omega_2=\frac{2\pi n_2}{60}.$$

Puterea P poate fi exprimată prin cuplul electromagnetic M şi prin viteza Ω_1 a cîmpului învîrtitor statoric.

$$P=M\Omega_1, \text{ unde } \Omega_1=\frac{2\pi n_1}{60}.$$

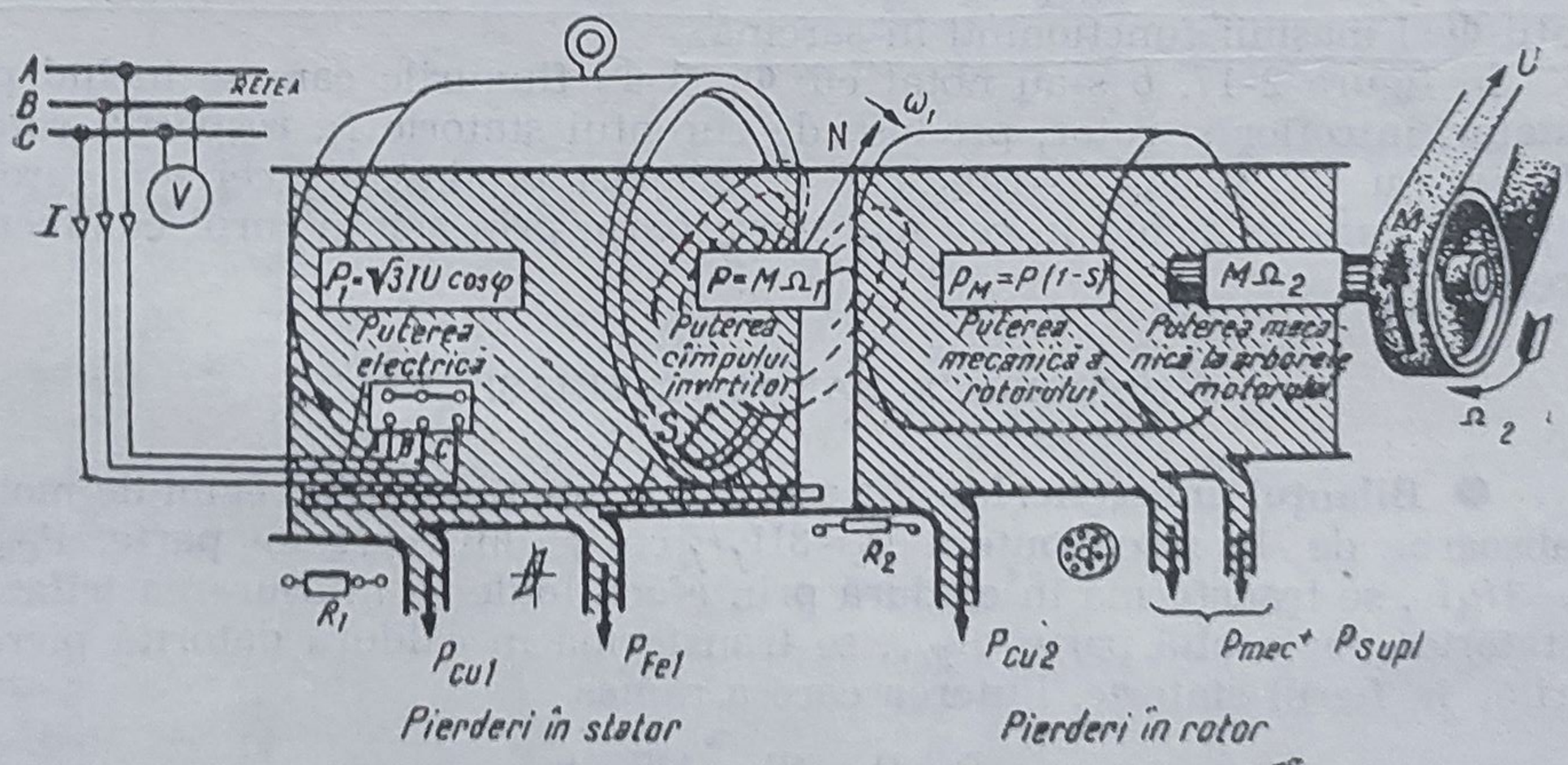


Fig. 2-18. Diagrama energetică a motorului asincron.

Ţinînd seama că $\Omega_2=(1-s)\,\Omega_1$ rezultă :

$$P_M=M\Omega_1(1-s)=(1-s)\,P.$$

Diferenţa este :

$$P-P_M=P_{Cu_2}=3R_2I_2^2$$

sau

$$P-P_M=M\Omega_1-M\Omega_1(1-s)=M\Omega_1 s.$$

Din aceste relaţii rezultă :

$$M\Omega_1 s=3R_2I_2^2$$

sau

$$M=\frac{3R_2I_2^2}{\Omega_1 s}=\frac{3R_2}{k^2\Omega_1}\cdot\frac{s^2U_1^2}{s(R_2^2+s^2X_2^2)},$$

unde $I_2=\dfrac{sE_2}{\sqrt{R_2^2+s^2X_2^2}}$, iar $E_2=\dfrac{1}{k}U_1$.

Cuplul electromagnetic va fi

$$M=\frac{3}{k^2\Omega_1}\cdot\frac{sR_2U_1^2}{R_2^2+s^2X_2^2},$$

iar notînd $K=\dfrac{3}{k^2\Omega_1}$ rezultă : $M=KU_1^2\dfrac{R_2s}{R_2^2+s_2^2X_2^2}$.

Dacă se neglijează pierderile prin frecări, se poate considera cuplul util la arbore M egal cu cuplul electromagnetic $M_u\simeq M$.

Deci, *cuplul de arbore depinde de tensiunea* U_1 *de alimentare a statorului, de alunecare* s *şi de parametrii circuitului rotoric* R_2 şi X_2.

● **Variaţia cuplului electromagnetic cu alunecarea.** Din analiza formulei cuplului, rezultă că pentru $s=0$ şi $s=\pm\infty$, $M=0$, iar *pentru* o anumită valoare a alunecării numită *alunecare critică*

$$S_{cr}=+\frac{R_2}{X_2},$$

cuplul are valoarea maximă, dată de relaţia :

$$M_m=KU_1^2\cdot\frac{\pm R_2\dfrac{R_2}{X_2}}{R_2^2+X_2^2\cdot\dfrac{R_2^2}{X_2^2}}=\pm\frac{KU_1^2}{2X_2}.$$

După cum se constată, valoarea cuplului maxim nu depinde de rezistenţa R_2 a motorului, în timp ce alunecarea critică este proporţională cu această rezistenţă. Alunecarea critică are valori mici, de ordinul 12—20%.

In figura 2-19, *a* este dată curba $M=f(s)$ pe care sînt puse în evidenţă regimurile de funcţionare ca motor şi generator. Uneori este necesar să se reprezinte variaţia cuplului în funcţie de turaţia n.

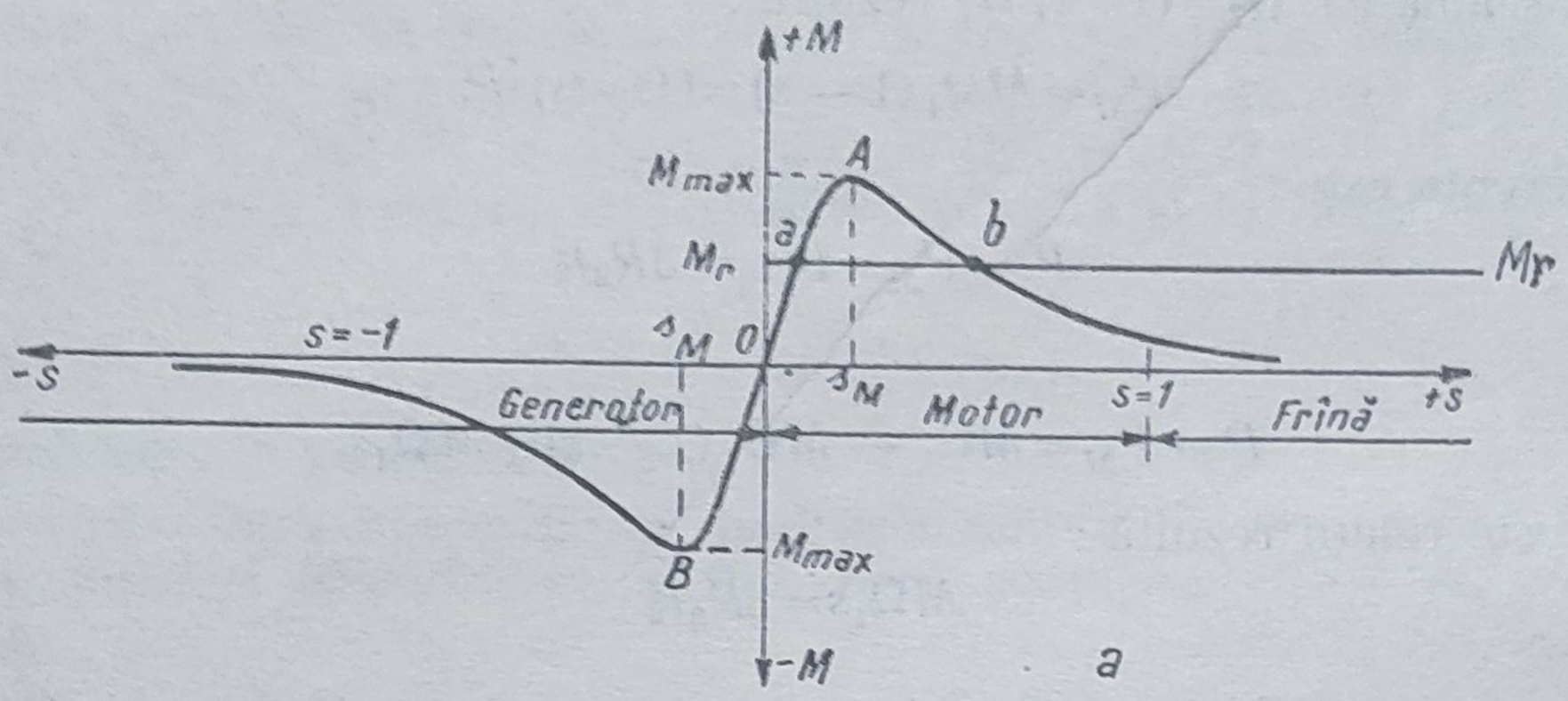


Fig. 2-19. Caracteristica de variație a cuplului mașinii asincrone în funcție: *a* — de alunecare; *b* — de rezistență circuitului rotoric.

Cuplul corespunzător alunecării $s=1$ ($n=0$) *este cuplul de pornire* M_p:

$$M_p = K \frac{U_1^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2}.$$

Dacă se notează cu M_N cuplul nominal dezvoltat de motor, atunci $M_m=(1{,}5 \ldots 3)\ M_N$. Cu cît motorul funcționează în condiții mai grele, cu șocuri de cuplu (laminoare, macarale, foraj) care pot depăși cuplul nominal, cu atît cuplul maxim trebuie să fie mai mare, din motive de siguranță.

În figura 2-19, *a* se poate observa că, pentru un cuplu rezistent M_r practic constant sînt posibile două puncte de funcționare *a* și *b*, la alunecări *s* diferite. Motorul nu poate funcționa însă stabil decît în punctul *a*, pe porțiunea urcătoare a caracteristicii $M=f(s)$.

Examinînd curba *1* din figura 2-19, *b* rezultă că la pornire ($s=1$) motorul asincron are un cuplu M_p relativ scăzut, mai mic decît cuplul nominal M_N. Prin urmare, **motorul asincron nu poate porni la sarcină nominală,** ceea ce reprezintă un dezavantaj.

● **Variația cuplului electromagnetic cu rezistența rotorică.** În figura 2-19, *b*, sînt reprezentate curbele $M=f(s)$ ale unei aceleiași mașini pentru diferite valori ale rezistenței circuitului rotoric; variația rezistenței

se poate obține înseriind pe fiecare fază diverse rezistențe $R_{a_1} < R_{a_2} < R_{a_3} < R_{a_4}$.

Se constată, așa cum s-a arătat și la paragraful precedent, că valoarea maximă a cuplului nu se schimbă, dar pe măsura creșterii rezistenței, această valoare corespunde unei alunecări mai mari. Se poate vedea că $M_{p_3} > M_{p_4} > M_{p_2} > M_{p_1}$. Pentru curba *3* la pornire ($s=1$) s-a obținut cuplul maxim, iar pentru curba *4* cuplul maxim este atins pentru $s > 1$. Pe figură s-au notat cu *a*, *b*, *c*, *d* punctele de funcționare corespunzătoare cuplului nominal, pentru fiecare din rezistențele circuitului rotoric.

● **Variația curentului rotoric cu alunecare.** Din expresia curentului rotoric

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}}$$

se constată că acesta variază cu alunecarea ; astfel, la creșterea alunecării s, expresia $\frac{R_2}{s}$ se micșorează și curentul crește dacă E_2 și X_2 rămîn constante. La pornire ($s=1$) curentul I_p este mai mare cu mult față de curentul nominal I_N (pentru $s=0{,}03 \ldots 0{,}06$)

3. PORNIREA MOTORULUI ASINCRON

Pentru ca pornirea motoarelor asincrone să se facă în bune condiții, cuplul la pornire trebuie să fie suficient de mare pentru a învinge cuplul rezistent.

De asemenea, trebuie să se limiteze valoarea curentului de pornire, care este de 4—8 ori mai mare decît curentul nominal.

● **Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat** se face cu ajutorul unui reostat de pornire, care are rolul de a introduce în circuitul rotoric niște rezistențe suplimentare (fig. 2-20, *a*).

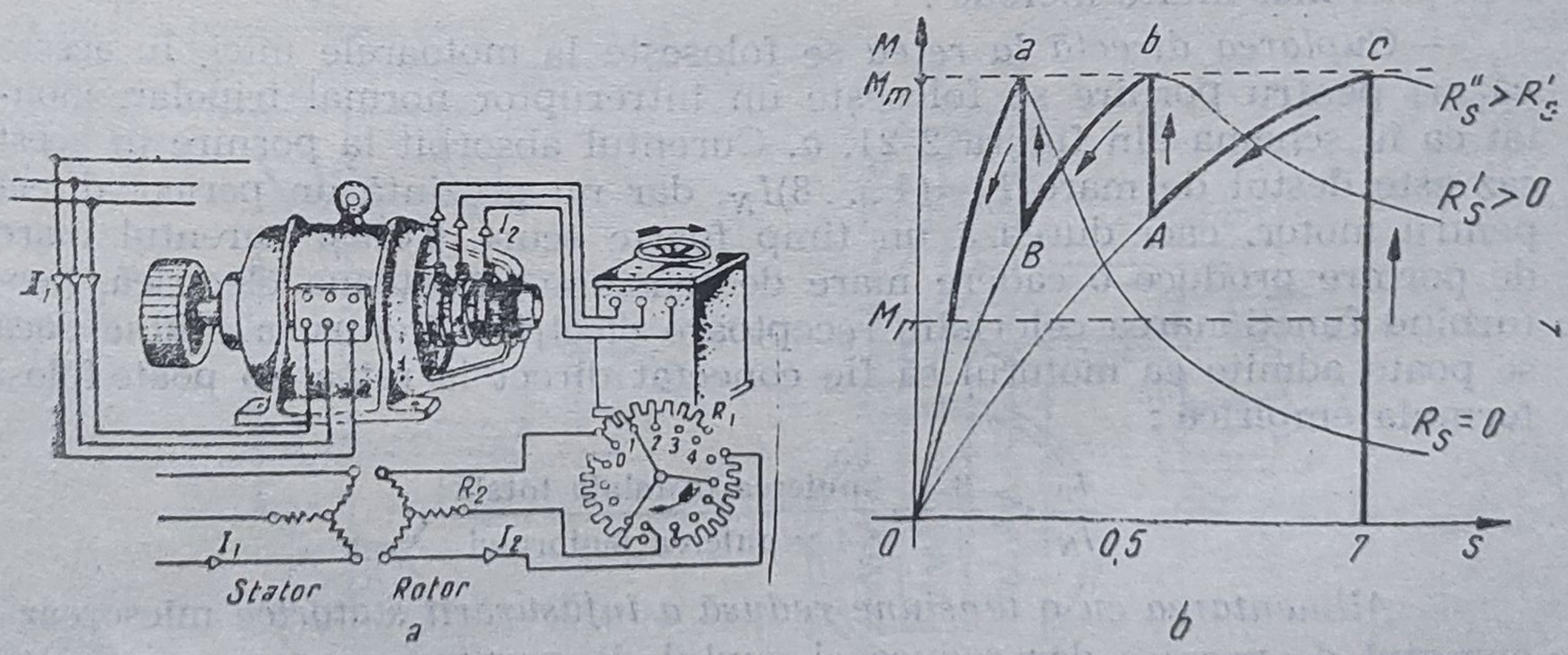


Fig. 2-20. Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat :
a — schema circuitului ; *b* — caracteristici $M = f(s)$.

se poate obține înseriind pe fiecare fază diverse rezistențe $R_{a_1} < R_{a_2} < R_{a_3} < R_{a_4}$.

Se constată, așa cum s-a arătat și la paragraful precedent, că valoarea maximă a cuplului nu se schimbă, dar pe măsura creșterii rezistenței, această valoare corespunde unei alunecări mai mari. Se poate vedea că $M_{p_3} > M_{p_4} > M_{p_2} > M_{p_1}$. Pentru curba *3* la pornire ($s=1$) s-a obținut cuplul maxim, iar pentru curba *4* cuplul maxim este atins pentru $s > 1$. Pe figură s-au notat cu *a*, *b*, *c*, *d* punctele de funcționare corespunzătoare cuplului nominal, pentru fiecare din rezistențele circuitului rotoric.

● **Variația curentului rotoric cu alunecare.** Din expresia curentului rotoric

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}}$$

se constată că acesta variază cu alunecarea ; astfel, la creșterea alunecării *s*, expresia $\frac{R_2}{s}$ se micșorează și curentul crește dacă E_2 și X_2 rămîn constante. La pornire ($s=1$) curentul I_p este mai mare cu mult față de curentul nominal I_N (pentru $s=0{,}03 \ldots 0{,}06$)

3. PORNIREA MOTORULUI ASINCRON

Pentru ca pornirea motoarelor asincrone să se facă în bune condiții, cuplul la pornire trebuie să fie suficient de mare pentru a învinge cuplul rezistent.

De asemenea, trebuie să se limiteze valoarea curentului de pornire, care este de 4—8 ori mai mare decît curentul nominal.

● **Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat** se face cu ajutorul unui reostat de pornire, care are rolul de a introduce în circuitul rotoric niște rezistențe suplimentare (fig. 2-20, *a*).

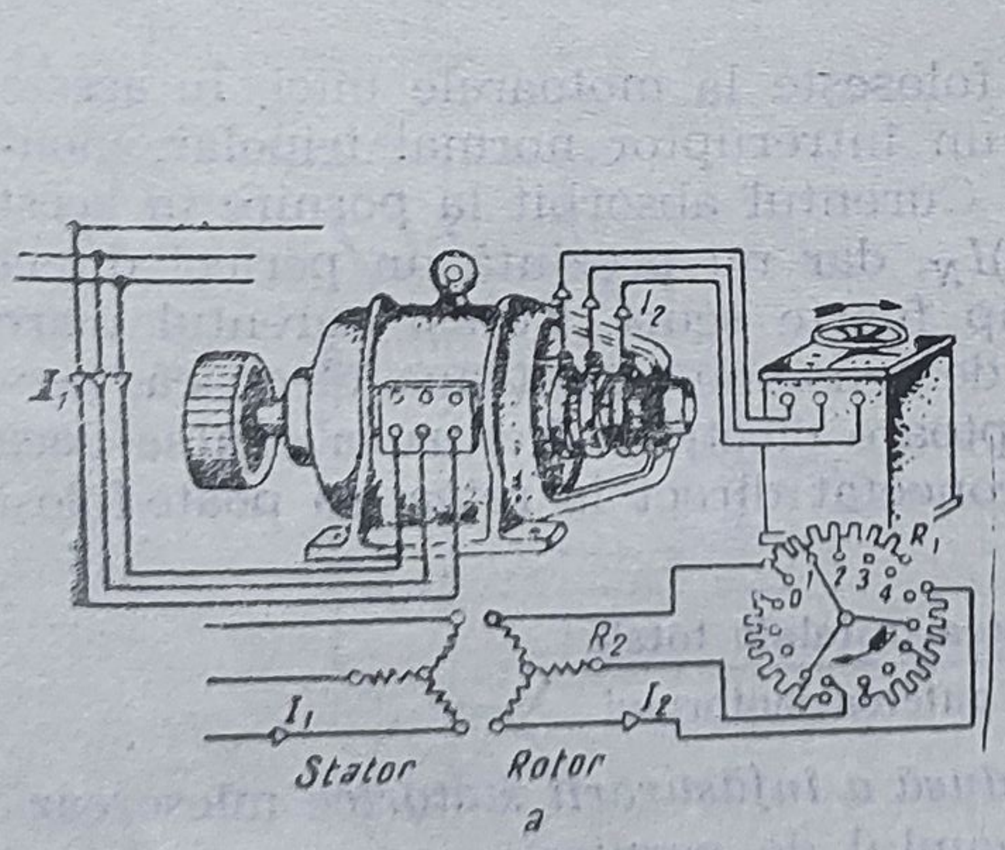


Fig. 2-20. Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul bobinat :
a — schema circuitului ; *b* — caracteristici $M = f(s)$.

Se știe că cele trei înfășurări rotorice sînt conectate în general în stea, capetele libere fiind legate la trei inele pe care alunecă trei perii în contact. Periile colectoare sînt legate la rezistențele exterioare de pornire. Reostatul de pornire este astfel construit, încît cele trei cursoare (de la cele trei faze) sînt acționate în același timp și în același sens. În felul acesta se introduc rezistențe egale pe fiecare fază rotorică.

Să presupunem că în primul moment al pornirii, rezistența suplimentară R_s este mare, asigurînd un cuplu de pornire mai mare decît cel rezistent M_r (v. fig. 2-20, *b*). Mișcarea rotorului începe să se accelereze și alunecarea scade. Cuplul dezvoltat de motor scade conform curbei *c*, pînă la o anumită valoare corespunzătoare punctului *A*, cînd intervenim și micșorăm rezistența R_s. Punctul de funcționare sare pe caracteristica *b*, corespunzătoare noii valorii a rezistenței R_s. Rotorul este solicitat din nou de un cuplu electromagnetic sensibil mai mare decît cuplul rezistent, accelerarea crește din nou și alunecarea scade. Punctul de funcționare se deplasează pe caracteristica *b* spre alunecări mai mici, cuplul electromagnetic scăzînd treptat. În punctul *B* intervenim din nou și micșorăm rezistența exterioară pînă la zero ($R_s = 0$) așa încît de aici înainte punctul de funcționare se deplasează pe caracteristica *a*. Cuplul activ dezvoltat de motor crește brusc, mărind din nou accelerația motorului. Apoi el scade treptat, conform caracteristicii *a*, pînă la valoarea $M = M$

Ca reostate de pornire se folosesc reostate metalice cu răcire în aer sau ulei pentru motoare de putere redusă și reostate cu apă — pentru pornirea motoarelor de putere mare.

Pornirea se poate face automat, scurtcircuitarea treptelor rezistențelor de pornire realizîndu-se cu ajutorul contactelor unor contactoare comandate cu ajutorul unor relee de timp sau de curent maxim, sau cu ajutorul unor controlere.

Conectarea statorului la rețea se realizează cu ajutorul unui întreruptor cu pîrghie sau întreruptor automat.

● **Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit** se poate face prin mai multe metode :

— *Cuplarea directă la rețea* se folosește la motoarele mici. În aceste cazuri pentru pornire se folosește un întreruptor normal tripolar, montat ca în schema din figura 2-21, *a*. Curentul absorbit la pornire în acest caz este destul de mare $I_p = (4 \ldots 8) I_N$, dar nu prezintă un pericol direct pentru motor, căci durează un timp foarte scurt. Totuși curentul mare de pornire produce o cădere mare de tensiune în rețeaua electrică, perturbînd funcționarea celorlalte receptoare electrice. Pentru a evalua dacă se poate admite ca motorul să fie conectat direct la rețea, se poate folosi formula empirică :

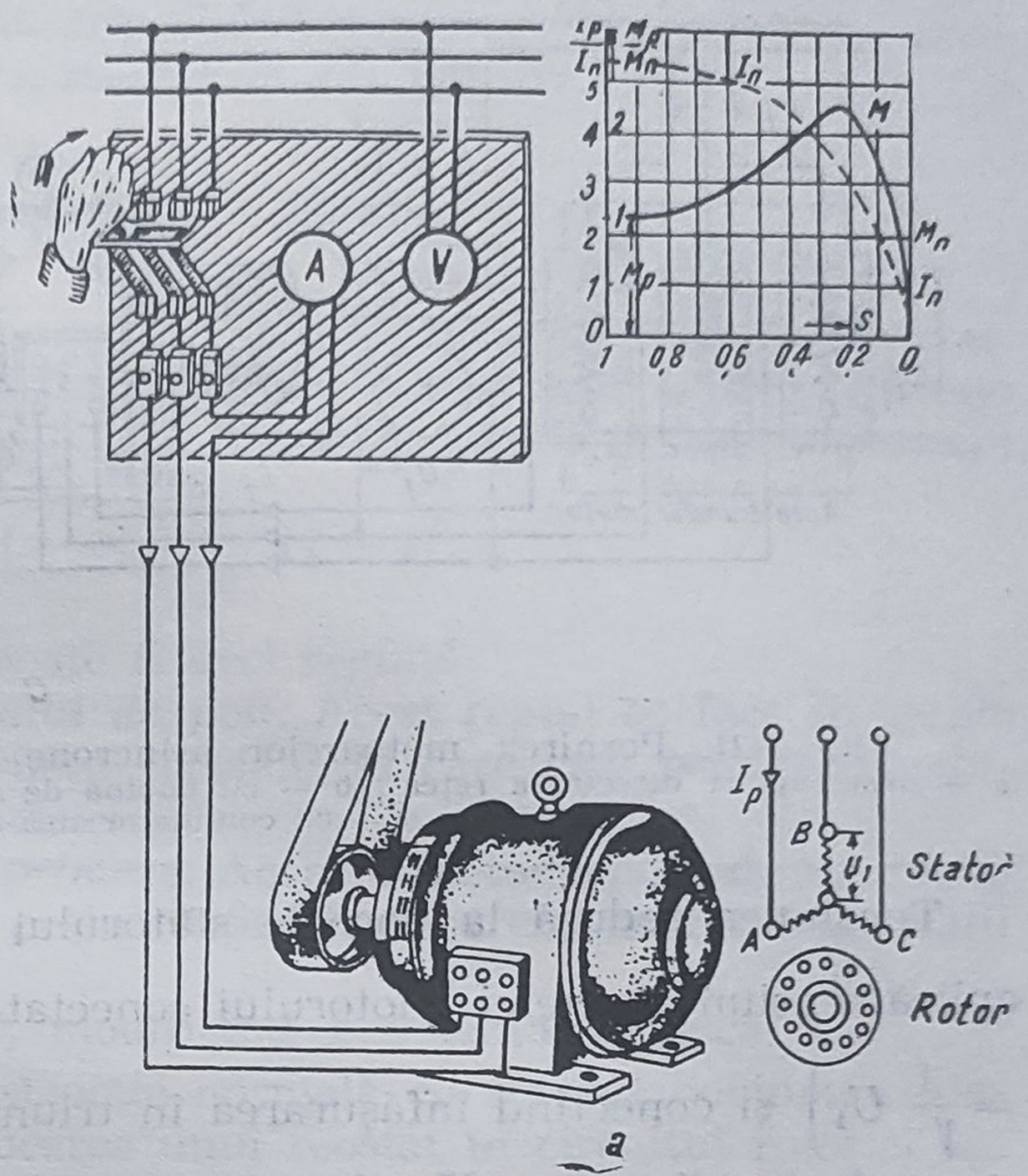
$$\frac{I_p}{I_N} < \frac{3}{4} + \frac{\text{puterea instalată totală}}{4 \times \text{puterea motorului}}.$$

— *Alimentarea cu o tensiune redusă a înfășurării statorice* micșorează curentul de pornire dar reduce și cuplul de pornire, ceea ce reprezintă un dezavantaj al metodei.

Tensiunea redusă poate fi obținută cu ajutorul unei bobine de reactanță reglabilă, de la priza mediană a unui autotransformator sau prin conectarea în stea-triunghi a înfășurării statorului.

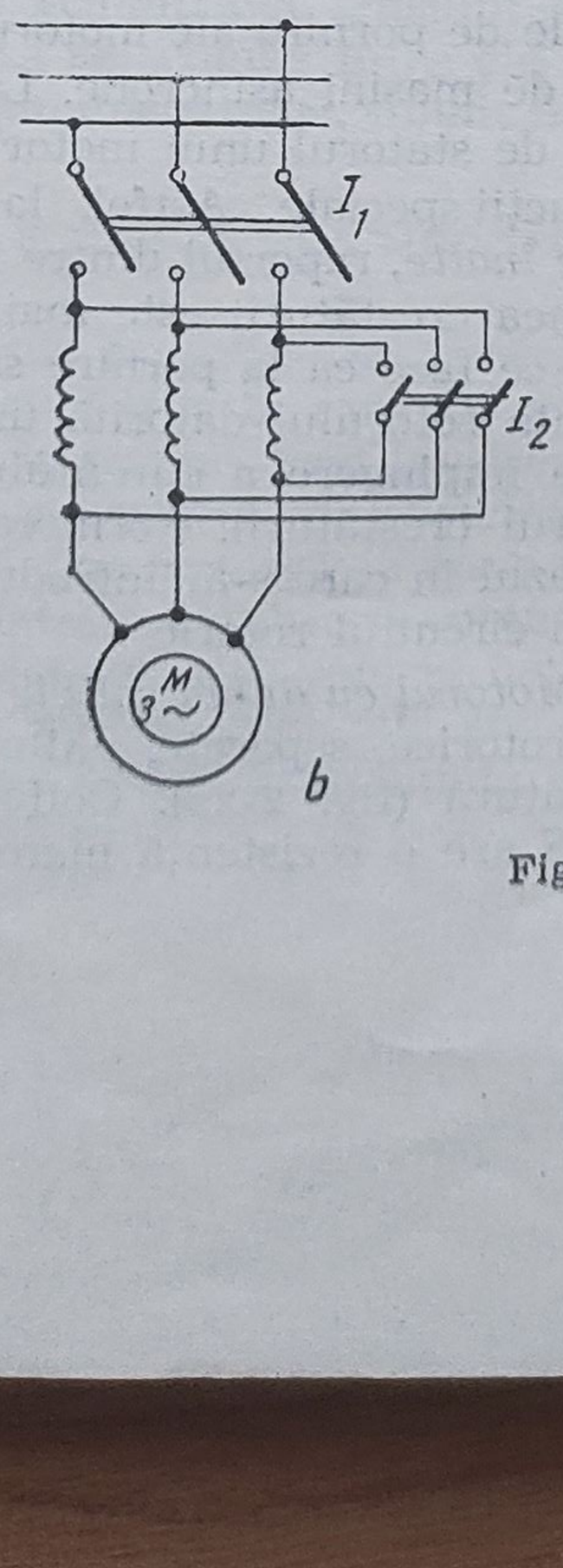
Conectarea statorului prin intermediul bobinelor de reactanță se realizează prin intermediul unui întreruptor manual, automat sau a unui contactor I_1 (fig. 2-21, *b*). După pornire, bobinele de reactanță sînt scurtcircuitate prin închiderea întreruptorului I_2.

În figura 2-21, *c* este redată schema instalației care cuprinde un autotransformator și trei întreruptoare. La pornire se închid întreruptoarele K_1 și K_2 și se lasă deschis întreruptorul K_3. În felul caesta, motorul este alimentat la pornire cu o tensiune joasă. După ce motorul a pornit, se închide întreruptorul K_3. Astfel, motorul primește o tensiune puțin mai înaltă, dar nu toată tensiunea rețelei, deoarece trecerea curentului prin înfășurarea autotransformatorului produce o cădere de tensiune. După aceasta se deschide întreruptorul K_2, motorul primind astfel întreaga tensiune a rețelei ; în acest mod, motorul ajunge la viteza normală.

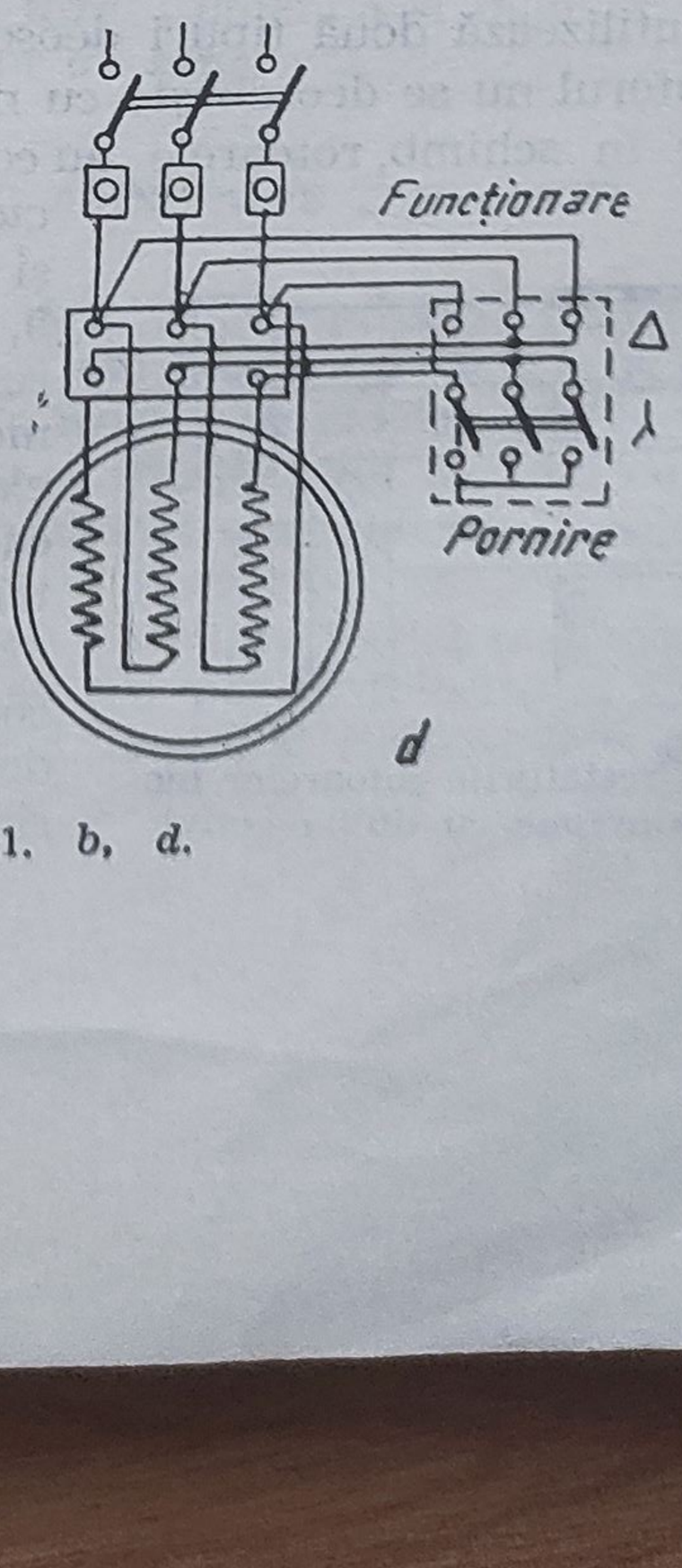


a

Fig. 2-21 *a*.



b



d

Fig. 2-21. *b*, *d*.

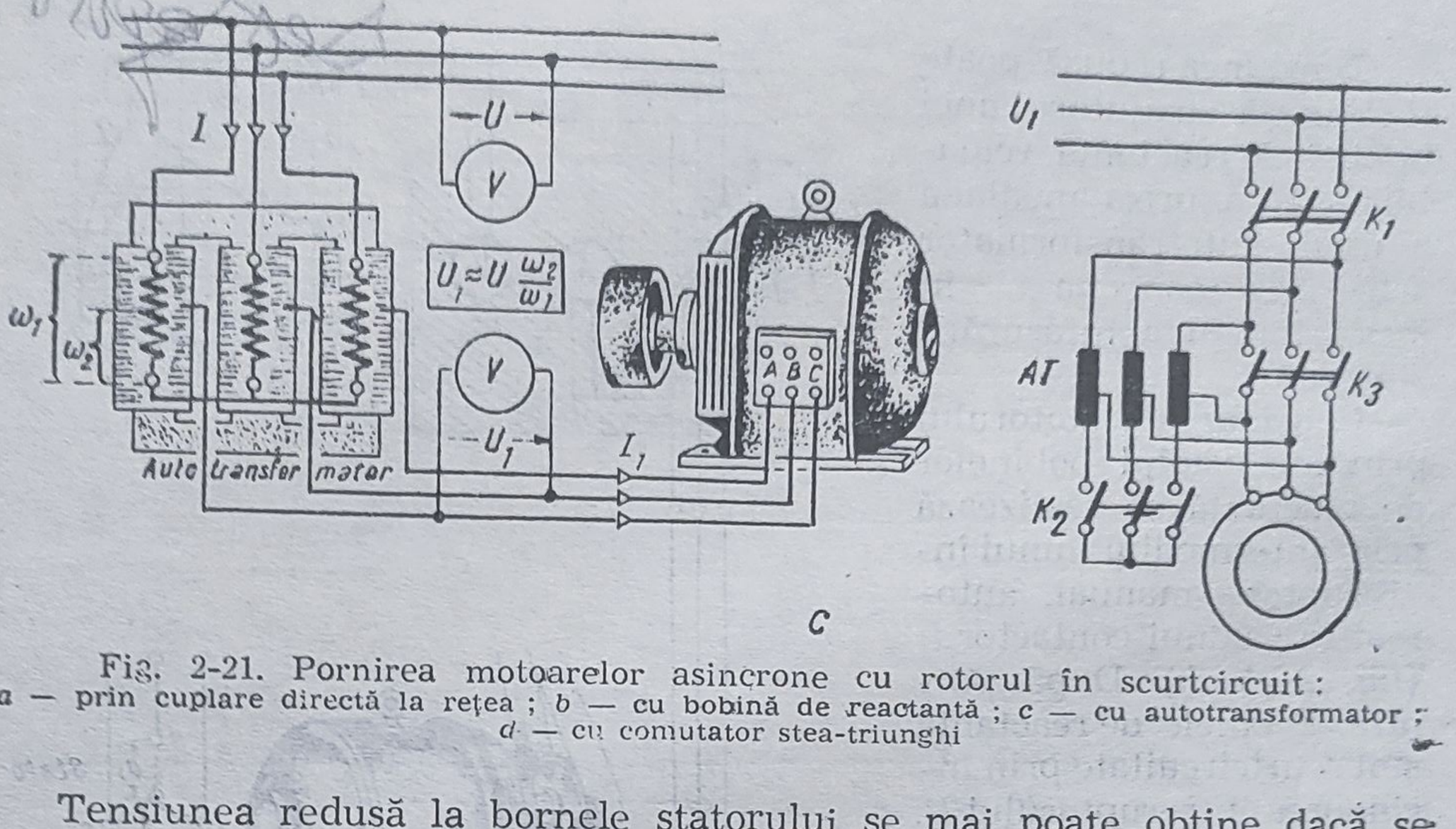


Fig. 2-21. Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit : *a* — prin cuplare directă la rețea ; *b* — cu bobină de reactanță ; *c* — cu autotransformator ; *d* — cu comutator stea-triunghi

Tensiunea redusă la bornele statorului se mai poate obține dacă se aplică tensiunea rețelei, motorului conectat în stea (pe fază revine $U_f = \frac{1}{\sqrt{3}} U_1$) și conectînd înfășurarea în triunghi numai după ce motorul a ajuns la turația normală ; deci, tensiunea rețelei se aplică în întregime unei faze a bobinajului statoric ($U_f = U_1$). Această metodă se poate aplica numai la motoarele asincrone care la funcționarea normală au înfășurările conectate în triunghi. În acest caz, cu ajutorul unui comutator special (fig. 2-21, *d*) se leagă înfășurările statorului în stea. La această metodă cuplul de pornire este de 3 ori mai mic decît cel nominal, deci ea nu poate fi aplicată decît la motoarele care pornesc în gol sau cu cupluri rezistente foarte mici.

— *Utilizarea unor motoare asincrone în scurtcircuit cu pornire ameliorată.* Pentru a îmbunătăți caracteristicile de pornire ale motorului asincron, se utilizează două tipuri deosebite de mașini asincrone. La ambele tipuri statorul nu se deosebește cu nimic de statorul unui motor asincron obișnuit ; în schimb, rotoarele au construcții speciale. Astfel, la *motorul cu bare înalte*, raportul dintre înălțimea și lățimea crestăturii este mai mare ca 5, ceea ce face ca la pornire să crească rezistența rotorului datorită unui fenomen de împingere a curentului înspre exteriorul crestăturii. Pornirea se face ca în cazul în care s-ar introduce rezistențe în circuitul rotoric.

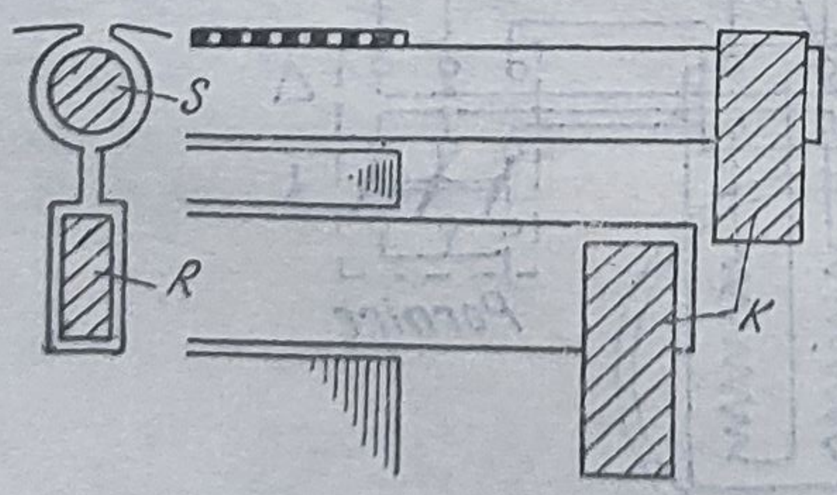


Fig. 2-22. Crestăturile rotoarelor motoarelor asincrone cu dublă colivie.

— *Motorul cu dublă colivie* are două colivii rotorice, separate, unite printr-o deschizătură (fig. 2-22). Colivia exterioară *S* are o rezistență mare, iar cea

interioară R are o rezistență normală, ambele colivii fiind scurtcircuitate de aceleași inele de scurtcircuitare. Colivia exterioară intervine numai la pornire și joacă rolul unei rezistențe de pornire.

4. REGLAREA VITEZEI

La motoarele asincrone nu se poate regla viteza în mod fin și continuu. Metodele de reglaj se deduc analizînd relația care indică expresia turației rotorului în funcție de alunecarea s și de turația de sincronism n_1 :

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60\,f}{p}(1 - s)\,.$$

Viteza motorului asincron poate fi deci reglată :

- *prin schimbarea numărului de poli*. Acest reglaj se face în trepte și este posibil numai la construcții speciale, la care este posibilă combinarea bobinelor înfășurării statorice ;
- *prin variația frecvenței primare*. Această metodă permite un reglaj fin și în limite largi, dar este puțin răspîndit deoarece necesită instalații speciale ;
- *prin variația alunecării*, modificînd rezistența rotorică.

În cazul motoarelor de construcție normală cu rotorul bobinat, reglarea vitezei se face prin introducerea unui reostat în circuitul rotoric, așa cum s-a arătat la pornirea cu reostat. Prin acest sistem se pot obține variații de viteză pînă la 50% din viteza normală. Trebuie remarcat însă faptul că rezistențele de reglaj consumă o cantitate importantă de energie. De aceea, metoda de variație a vitezei prin rezistențe se aplică numai în cazuri speciale.

SCHIMBAREA SENSULUI DE ROTAȚIE

Pentru schimbarea sensului de rotație al motoarelor asincrone, este suficient să se schmbe între ele două faze. Comanda și manevra se face cu un comutator special, numit *inversor de sens*.

6. UTILIZAREA MOTOARELOR ASINCRONE TRIFAZATE

Motoarele asincrone se folosesc — datorită simplității construcției — în toate acționările în care nu se cere o variație a turației, la acționările obișnuite, la pompe, ventilatoare, unele mașini de ridicat, ascensoare etc. *Motoarele cu rotorul în scurtcircuit* au avantajul față de cele cu rotorul bobinat că funcționează la cos φ și randament mai ridicat, în schimb ele au dezavantajul că absorb curent mare la pornire și nu permit reglarea turației. *Motoarele cu rotorul bobinat* au un cuplu inițial mai mare și un curent de pornire mai mic și de aceea ele pot fi folosite și în cazuri cînd se cere o reglare în limite largi ale vitezei și cînd se cere o putere mare a motorului.

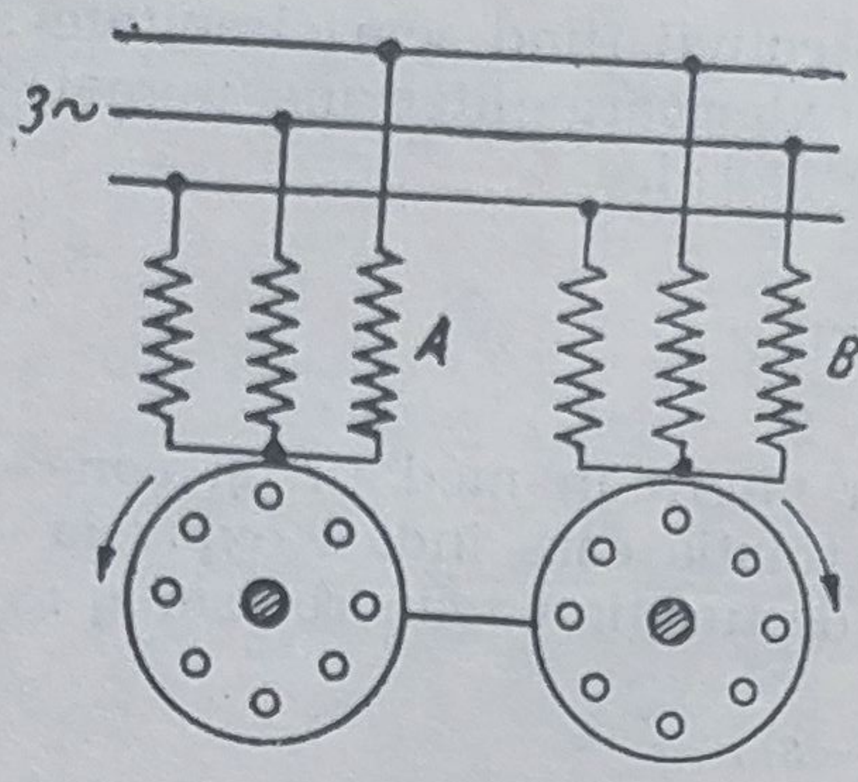


Fig. 2-23. Schemele mașinilor trifazate echivalente motorului asincron monofazat.

F. MOTORUL ASINCRON MONOFAZAT

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Motoarele asincrone monofazate sînt construite din *două înfășurări:* una *primară*, monofazată fixată obișnuit pe stator, iar cealaltă *secundară*, polifazată fixată pe rotor, (rotor în colivie sau bobinat).

S-a arătat că dacă se alimentează inductorul — stator cu curent alternativ monofazat, se produce un cîmp pulsatoriu, fix în spațiu. Acesta se poate descompune în două cîmpuri învîrtitoare, de amplitudine pe jumătate decît a cîmpului pulsatoriu, care se învîrtesc în sensuri diferite cu viteza :

$$n_1 = \frac{60\, f_1}{p}$$

în care f_1 este frecvența curentului alternativ de alimentare.

În acest mod, motorul monofazat este echivalent cu două motoare asincrone trifazate identice (fig. 2-23), ale căror înfășurări statorice produc cîmpuri învîrtitoare identice dar cu sensuri de rotație diferite, și care au rotoarele solidare pe același arbore.

Aceste cîmpuri învîrtitoare exercită fiecare asupra rotorului parcurs de curent cîte un cuplu :

— cîmpul direct (care se învîrtește cu viteza n_1 în sensul de mișcare al rotorului) exercită un cuplu activ, direct M_d ;

— cîmpul invers (care se rotește cu viteza $-n_1$) exercită un cuplu de frînare, invers, M_i.

Variația celor două cupluri în funcție de alunecare este reprezentată în figura 2-24. Cele două caracteristici $M_d = f(s)$ și $M_i = f(s)$ fiind simetrice în raport cu axa alunecărilor, înseamnă că la $s=1$ cuplul rezultant $M_d + M_i = 0$. De aceea, motorul asincron monofazat nu pornește singur. Pentru a porni, este necesar să i se dea un impuls de pornire, cu ajutorul unei forțe din afară. În oricare sens, deoarece la $s=1$, apare un cuplu rezultant $M_d - M_i$. Deci sensul de rotație al motorului monofazat depinde numai de sensul impulsului de pornire.

Motorul monofazat se execută pentru puteri mici și numai cu rotorul în scurtcircuit. Din punctul de vedere al prețului de cost și al caracteristicilor de funcționare, el este inferior celui trifazat. La aceeași putere este aproape de două ori mai greu și are η, $\cos\varphi$ și M_{max} mai mici.

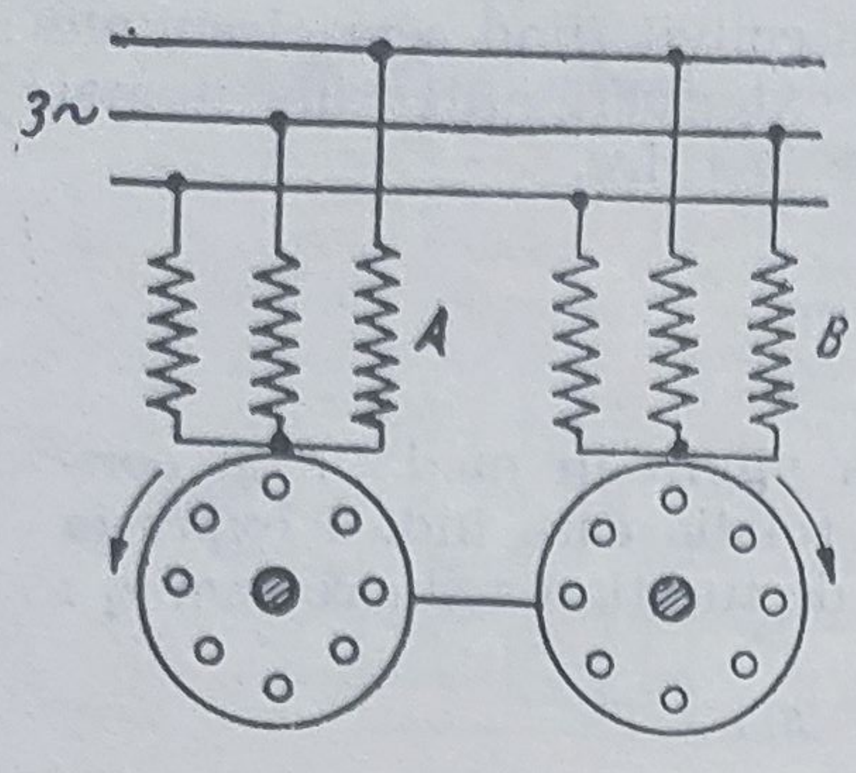


Fig. 2-23. Schemele mașinilor trifazate echivalente motorului asincron monofazat.

F. MOTORUL ASINCRON MONOFAZAT

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE

Motoarele asincrone monofazate sînt construite din *două înfășurări:* una *primară*, monofazată fixată obișnuit pe stator, iar cealaltă *secundară*, polifazată fixată pe rotor, (rotor în colivie sau bobinat).

S-a arătat că dacă se alimentează inductorul — stator cu curent alternativ monofazat, se produce un cîmp pulsatoriu, fix în spațiu. Acesta se poate descompune în două cîmpuri învîrtitoare, de amplitudine pe jumătate decît a cîmpului pulsatoriu, care se învîrtesc în sensuri diferite cu viteza:

$$n_1 = \frac{60\, f_1}{p}$$

în care f_1 este frecvența curentului alternativ de alimentare.

În acest mod, motorul monofazat este echivalent cu două motoare asincrone trifazate identice (fig. 2-23), ale căror înfășurări statorice produc cîmpuri învîrtitoare identice dar cu sensuri de rotație diferite, și care au rotoarele solidare pe același arbore.

Aceste cîmpuri învîrtitoare exercită fiecare asupra rotorului parcurs de curent cîte un cuplu:

— cîmpul direct (care se învîrtește cu viteza n_1 în sensul de mișcare al rotorului) exercită un cuplu activ, direct M_d;

— cîmpul invers (care se rotește cu viteza $-n_1$) exercită un cuplu de frînare, invers, M_i.

Variația celor două cupluri în funcție de alunecare este reprezentată în figura 2-24. Cele două caracteristici $M_d = f(s)$ și $M_i = f(s)$ fiind simetrice în raport cu axa alunecărilor, înseamnă că la $s=1$ cuplul rezultant $M_d + M_i = 0$. De aceea, motorul asincron monofazat nu pornește singur. Pentru a porni, este necesar să i se dea un impuls de pornire, cu ajutorul unei forțe din afară. În oricare sens, deoarece la $s=1$, apare un cuplu rezultant $M_d - M_i$. Deci sensul de rotație al motorului monofazat depinde numai de sensul impulsului de pornire.

Motorul monofazat se execută pentru puteri mici și numai cu rotorul în scurtcircuit. Din punctul de vedere al prețului de cost și al caracteristicilor de funcționare, el este inferior celui trifazat. La aceeași putere este aproape de două ori mai greu și are η, $\cos\varphi$ și M_{max} mai mici.

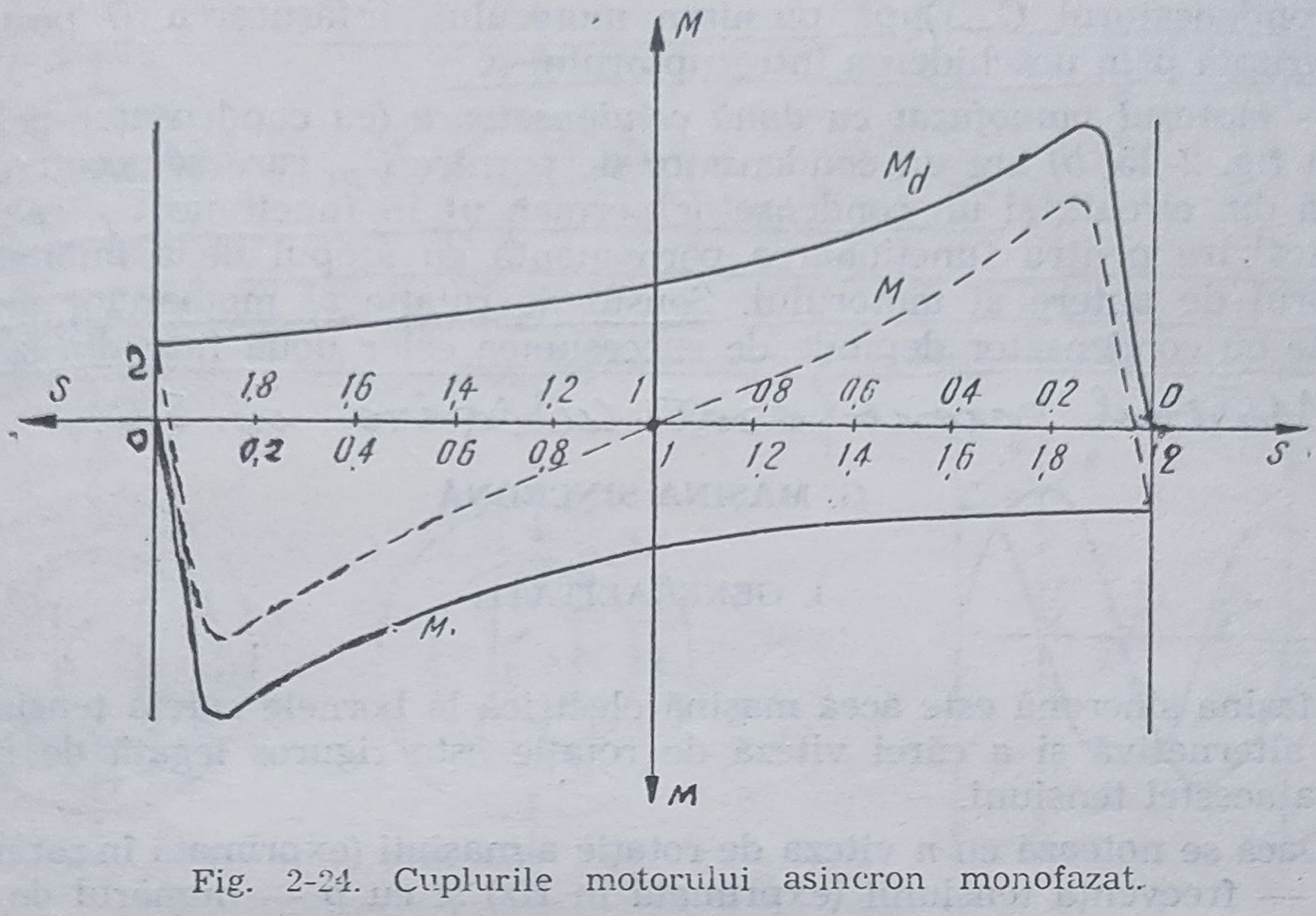


Fig. 2-24. Cuplurile motorului asincron monofazat.

2. PORNIREA MOTORULUI ASINCRON MONOFAZAT

Pentru ca să poată porni singure, motoarele monofazate sînt pornite în sistem bifazat, realizîndu-se un cîmp suplimentar cu o înfășurare auxiliară. Această înfășurare auxiliară trebuie să fie parcursă de un curent decalat cu $\frac{\pi}{2}$ față de cel principal și de aceea se înseriază cu o bobină de inducție sau cu o capacitate. Cele mai utilizate sînt motoarele monofazate cu condensatoare, care au un cuplu de pornire mai ridicat și un cos φ mai bun decît al motoarelor monofazate cu inductanțe.

Motorul monofazat cu condensator se realizează în două variante:

— *motorul monofazat cu un singur condensator* (fig. 2-25, *a*) în care *A* este înfășurarea principală, iar *B* este înfășurarea auxiliară, înseriată

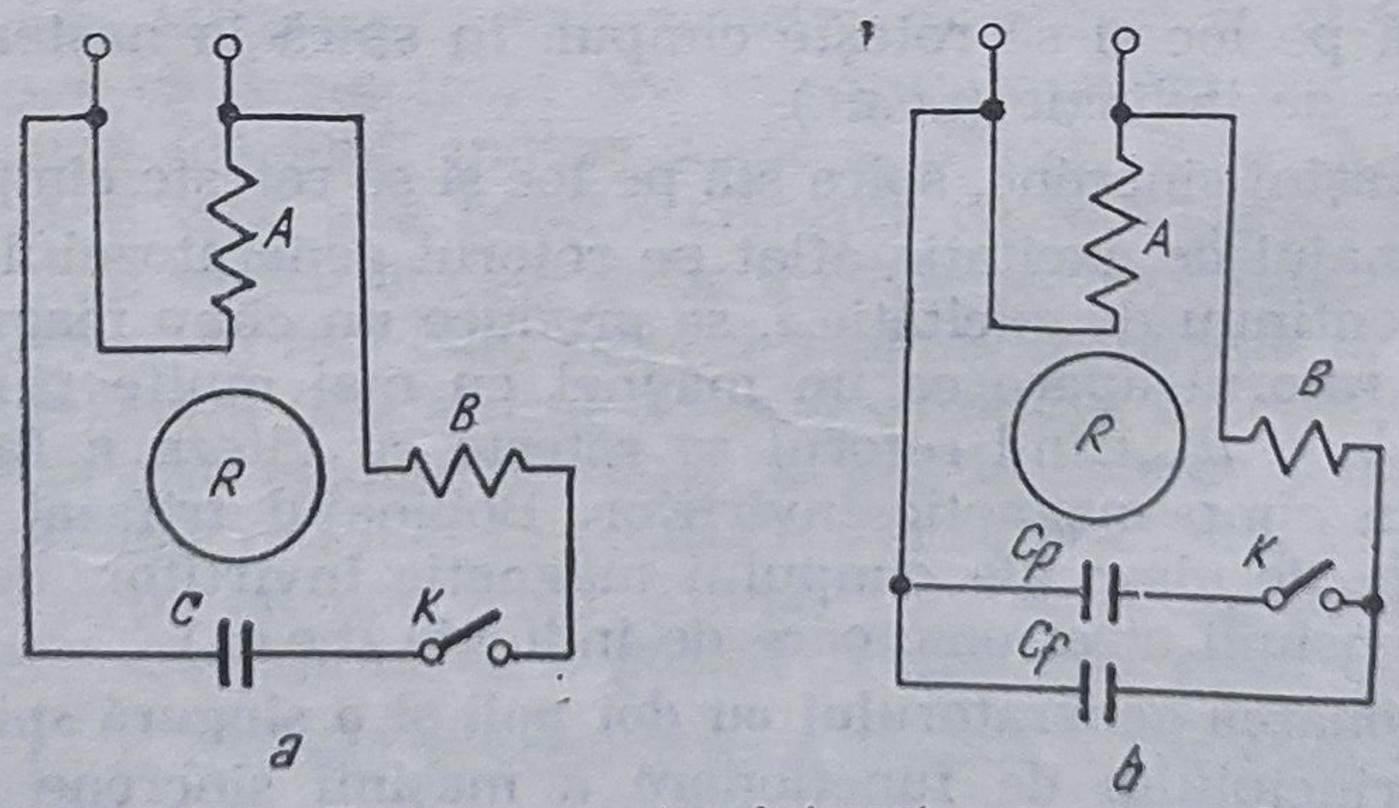


Fig. 2-25. Pornirea motorului asincron monofazat:
a — cu un condensator; b — cu două condensatoare.

cu condensatorul C. După pornirea motorului, înfășurarea B poate fi întreruptă prin deschiderea întreruptorului K;

— *motorul monofazat cu două condensatoare* (cu condensator permament fig. 2-25, *b)* are un condensator de pornire C_p, care se scoate după aceea din circuit, și un condensator permanent în funcțiune C_f, calculat la încălzire pentru funcționarea permanentă cu scopul de a îmbunătăți factorul de putere al motorului. Sensul de rotație al motoarelor monofazate cu condensator depinde de succesiunea celor două faze din stator.

Motorul monofazat cu spira în S.C. –

G. MAȘINA SINCRONĂ

1. GENERALITĂȚI

Mașina sincronă este acea mașină electrică la bornele căreia tensiunea este alternativă și a cărei viteză de rotație este riguros legată de frecvența acestei tensiuni.

Dacă se notează cu n viteza de rotație a mașinii (exprimată în rot/min) cu f — frecvența tensiunii (exprimată în Hz) și cu p — numărul de perechi de poli ai mașinii, atunci există următoarea relație :

$$n = \frac{60\,f}{p}.$$

Această viteză este constantă, indiferent de sarcina mașinii și ea se numește *viteză de sincronism.*

Mașina sincronă are utilizarea cea mai largă în funcționarea sa ca generator. În prezent, curentul alternativ este furnizat consumatorilor numai cu ajutorul generatoarelor sincrone.

2. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL GENERATORULUI SINCRON

Dacă o spiră este rotită în jurul axei sale într-un cîmp magnetic, sau dacă spira stă pe loc și se rotește cîmpul, în spiră ia naștere o tensiune electromotoare de inducție (t.e.m.).

În cazul mașini sincrone, spira stă pe loc și se rotește cîmpul.

Dacă bobinajul de excitație aflat pe rotorul generatorului este parcurs de curentul continuu de excitație i, se produce un cîmp magnetic fix față de rotor, iar rotorul apare ca un magnet cu mai multe perechi de poli (fig. 2-26, *a, b, c, d*). Cînd rotorul se rotește cu viteza n față de stator, el produce un cîmp magnetic învîrtitor. Bobinajul trifazat statoric este tăiat de liniile de cîmp ale cîmpului magnetic învîrtitor, deci în el vor lua naștere tensiuni electromotoare de inducție (t.e.m.).

● **Funcționarea generatorului cu doi poli și o singură spiră pe stator.** Expunerea principiului de funcționare a mașinii sincrone se va face utilizînd o reprezentare simplificată a mașinii sincrone, și anume cea

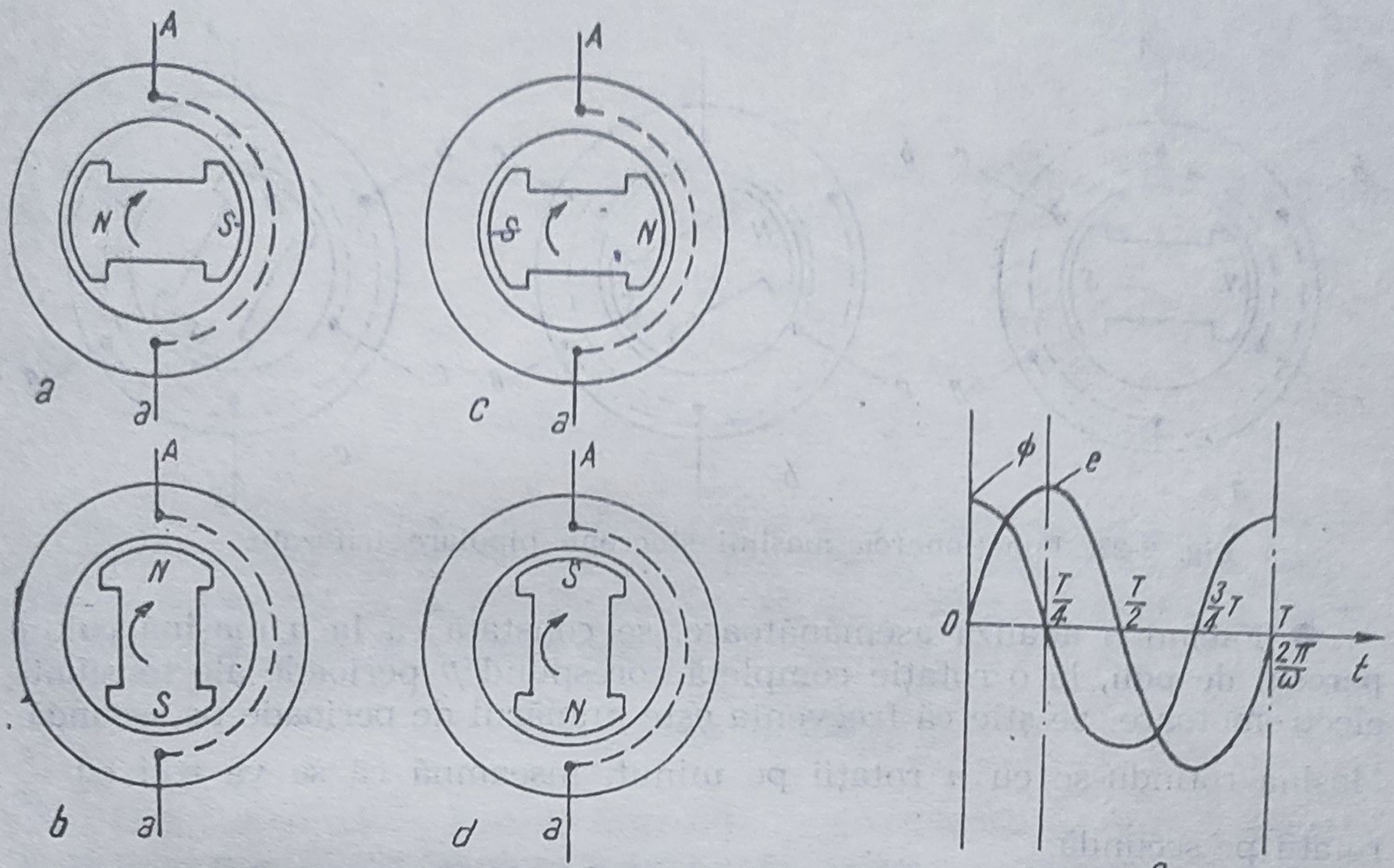


Fig. 2-26. Funcționarea mașinii sincrone bipolare monofazate :
a, b, c, d, e — variația în timp a tensiunii electromotoare și a fluxului.

din figura 2-26, *a*. Începutul spirei s-a notat cu *A*, iar sfîrșitul cu *a*. Cu linie punctată s-a reprezentat legătura dintre cele două conductoare ce alcătuiesc spira și care se află de partea cealaltă a indusului față de extremitățile *A* și *a*. Cînd inductorul se află în poziția *a*, atunci fluxul care trece prin spiră este maxim (în acest caz axa unui pol al inductorului coincide cu axa spirei), iar tensiunea electromotoare indusă în spiră este zero. Pe măsură ce rotorul se învîrtește (în sensul săgeții din figură), fluxul care trece prin spiră scade, iar tensiunea electromotoare crește. Cînd rotorul ajunge în poziția *b*, fluxul prin spiră este zero și, în schimb t.e.m. este maximă și orientată de la *A* către *a*. Atribuind valori pozitive tensiunilor electromotoare care au sensul de la începutul spirei (extremitatea *A*) către sfîrșitul ei (extremitatea *a*), atunci în situația din poziția *b*, tensiunea electromotoare are valoarea maximă pozitivă. Din acest moment valoarea tensiunii induse scade și ajunge zero cînd rotorul este în poziția *c*, deci cînd axa polului coincide cu axa spirei. În continuare, t.e.m. crește, însă sensul ei este de la *a* către *A*, deci conform convenției, ia valori negative. Atunci cînd rotorul a ajuns în poziția *d*, ea are valoarea maximă negativă (are sensul de la *a* către *A*). În continuare, tensiunea indusă scade ca valoare absolută, avînd de asemenea volori negative. Cînd rotorul ajunge din nou în poziția *a* din figura 2-26, tensiunea indusă este zero și începe un nou ciclu. Timpii care se scurg pentru ca rotorul să se deplaseze succesiv de la o poziție la alta sînt egali cu cîte un sfert de perioadă $\left(\frac{T}{4}\right)$. Rezultă reprezentarea grafică a variației tensiunii electromotoare, dată în figura 2-26, *e*.

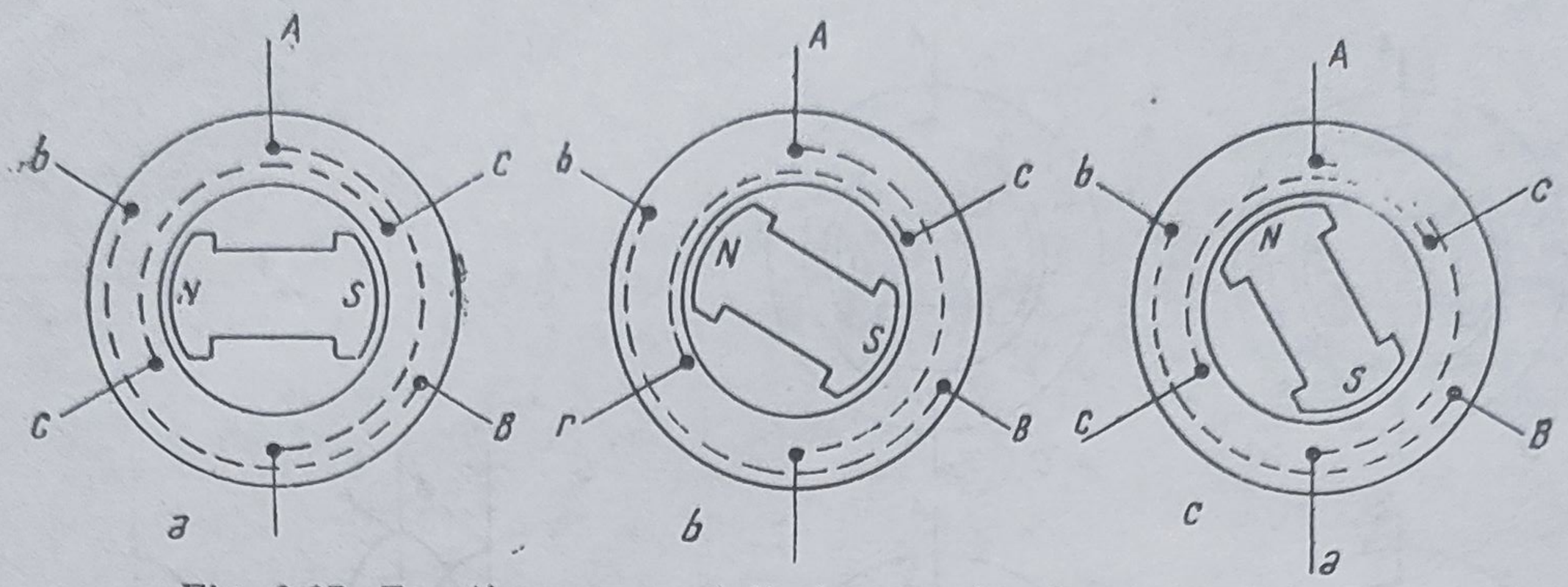


Fig. 2-27. Funcționarea mașinii sincrone bipolare trifazate.

● Făcînd o analiză asemănătoare, se constată că **la o mașină cu** p **perechi de poli,** la o rotație completă corespund p perioade ale tensiunii electromotoare. Se știe că frecvența este numărul de perioade pe secundă. Mașina rotindu-se cu n rotații pe minut, înseamnă că se va roti cu $\frac{n}{60}$ rotații pe secundă.

Dacă la o rotație corespund p perioade ale tensiunii electromotoare înseamnă că la $\frac{n}{60}$ rotații ce au loc într-o secundă corespund $p\frac{n}{60}$ perioade. Dar acestea este tocmai frecvența tensiunii induse, adică numărul de perioade pe secundă.

Se poate scrie deci : $f = \frac{pn}{60}$.

Aceasta este ralția caracteristică pentru mașina sincronă.

● Se va urmări în continuare ce se întîmplă atunci cînd **pe stator,** în loc de o singură spiră, **există trei spire cu axele decalate** între ele în spațiu cu 120°. Se vor examina variațiile tensiunilor electromotoare în funcție de poziția rotorului, cu ajutorul figurii 2-27, în care sînt considerate trei poziții diferite ale rotorului. Timpul necesar ca rotorul să treacă de la o poziție la alta este egal cu $\frac{T}{12}$.

În tabela 2-1 sînt concentrate datele pentru fiecare poziție, iar în figura 2-28 este prezentată variația în timp a tensiunilor electromotoare

Tabela 2-1

Nr. crt.	Timpul t	Poziția axei polilor coincide cu	Valoarea tensiuni electromotoare în spiră		
			Aa	Bb	Cc
1	0	Axa spirei Aa	0	$0 > e > -E_{max}$	$E_{max} > e > 0$
2	$\frac{1}{12}T$	Conductoarele spirei Bb	$0 < e < -E_{max}$	$-E_{max}$	$E_{max} > e > 0$
3	$\frac{2}{12}T$	Axa spirei Cc	$0 < e < -E_{max}$	$-E_{max} < e < 0$	0

induse în cele trei spire. Se constată că tensiunile induse în cele trei spire formează un sistem trifazat, curbele de variație fiind identice, dar deplasate cu $\frac{1}{3}$ RT.

Expresia tensiunii electromotoare induse în spiră se calculează cu relația cunoscută din partea de Electrotehnică (vol. I)

$$e = E_m \sin \omega t,$$

în care :

$$E_m = \omega \Phi_m \text{ și } \omega = 2\pi f = \frac{2\pi pn}{60}.$$

iar Φ_m este valoarea maximă a fluxului care străbate spira și ω — pulsația corespunzătoare turației n a rotorului. Sensul t.e.m. induse se determină cu regula mîinii drepte. Într-o bobină cu w spire a generatorului va lua naștere o t.e.m. de valoare eficace

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} w \omega \Phi_m = K \Phi_m \omega$$

adică t.e.m. produsă în fiecare fază este proporțională cu fluxul magnetic al unui pol rotoric, singura mărime din relația de mai sus care poate fi variată.

Dacă circuitul statoric este închis, statorul generatorului va debita un curent I, cu aceeași frecvență ca și tensiunea electromotoare indusă.

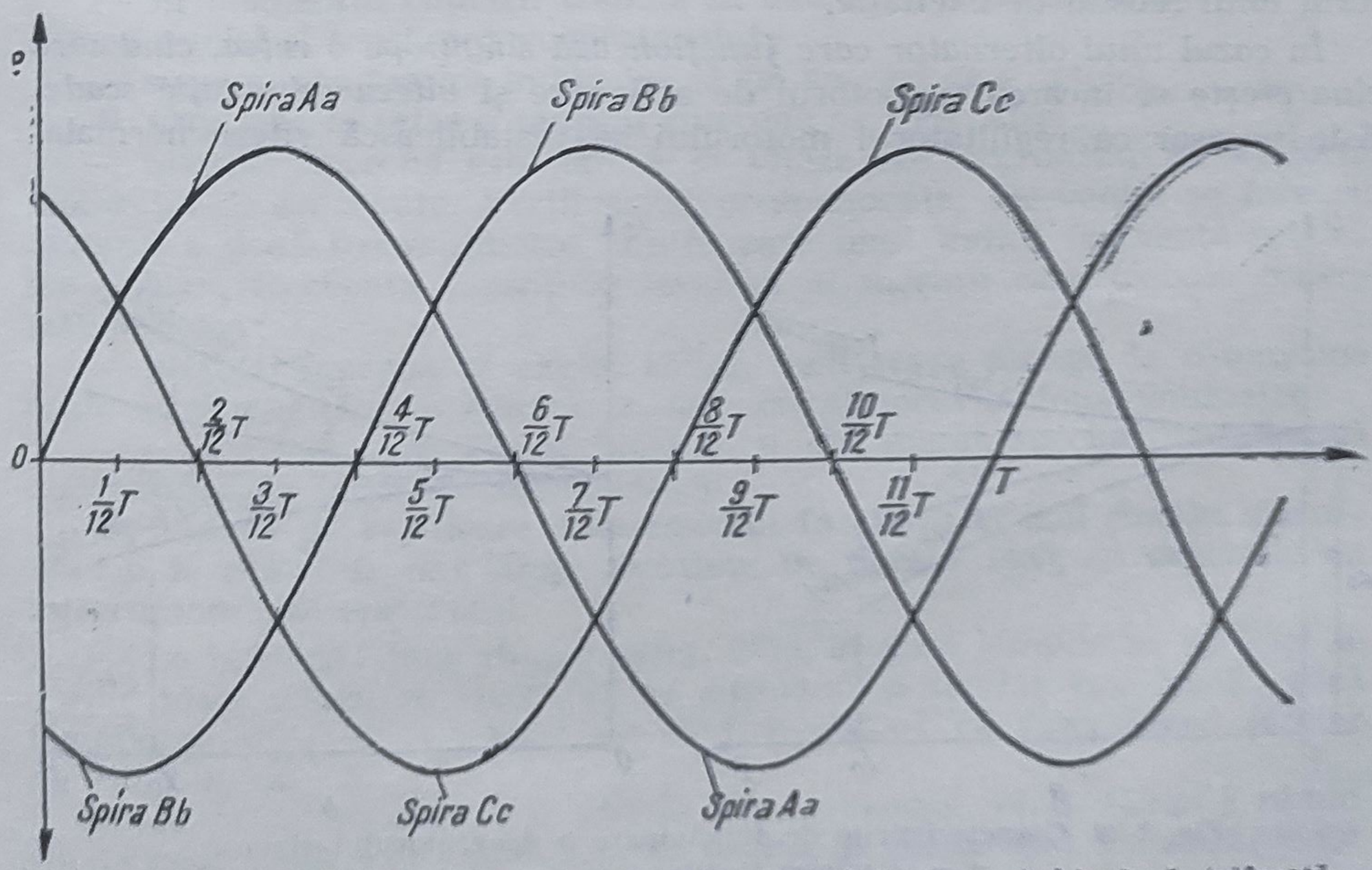


Fig. 2-28. Variația în timp a t.e.m. induse la o mașină sincronă bipolară, trifazată.

Generatorul sincron primește din afară energie mecanică pentru rotația rotorului, pe care o transformă în energie electrică debitată de stator.

Deoarece frecvența curentului f trebuie să fie constantă, generatorul sincron, denumit și *alternator*, funcționează cu o viteză constantă.

Curenții de sarcină din bobinajul trifazat statoric produc și ei un cîmp învîrtitor care are viteza :

$$n_0 = \frac{60\,f}{p} = \frac{60}{p} \cdot \frac{pn}{60} = n$$

adică are aceeași viteză ca și rotorul. În practică însă frecvența f este dată, fiind frecvența rețelei pe care debitează generatorul, deci viteza n_0 este dată.

În consecință, rotorul trebuie să fie antrenat cu o viteză $n = n_0$, adică rotorul și cîmpul statoric trebuie să aibe riguros aceeași turație. *Rotorul trebuie deci să se rotească în sincronism cu cîmpul învîrtitor al statorului.*

Dacă în timpul funcționării generatorului, curentul produs crește datorită mărimii sarcinii — în bobinajele statorice se produce o cădere mai mare de tensiune, care duce la scăderea tensiunii la bornele generatorului (fig. 2-29, *a*). În acest caz este necesar să se mărească tensiunea indusă E, care însă nu poate crește decît dacă crește Φ_m. Aceasta cere — în cazul unui $\cos\varphi$ inductiv — mărirea curentului de excitație. Cînd curentul de sarcină scade, curentul de excitație va trebui micșorat (fig. 2-29, *b*).

Variația curenților este inversă în cazul unui decalaj capacitiv. Modificarea curentului de excitație în funcție de felul sarcinii se face cu ajutorul unui reostat de excitație.

În cazul unui alternator care funcționează singur pe o rețea, cînd sarcina crește se încarcă și motorul de acționare și *viteza de rotație scade.* Este necesar ca regultatorul motorului să restabilească viteza normală,

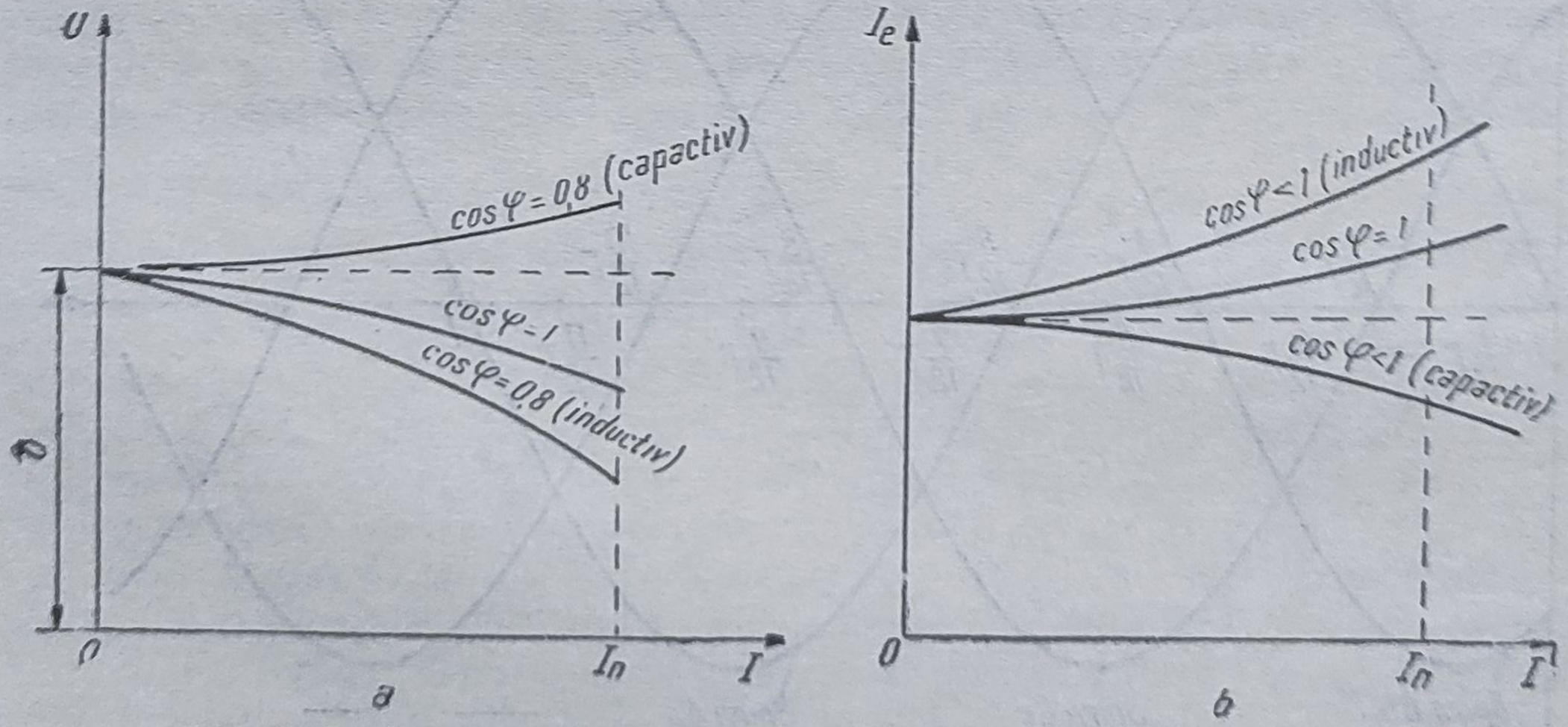


Fig. 2-29. Caracteristicile de funcționare a generatorului sincron :
a — în sarcină $U = f(I)$; b — de reglare $I_e = f(I)$.

prin mărirea admisiei la motoarele cu explozie sau prin mărirea debitului de apă sau de abur, la turbine. La descărcare, se produce fenomenul invers.

În concluzie, viteza și, prin urmare, frecvența unui generator sincron care funcționează singur într-o rețea, variază cu sarcina. Mărimea acestei variații depinde de proprietățile regulatorului.

În cazul a două sau mai multe alternatoare cuplate în paralel, viteza este hotărîtă de frecvența rețelei. Prin modificarea excitației, viteza alternatorului nu se poate modifica. Pentru a încărca sau pentru a descărca motorul și alternatorul, trebuie să se acționeze direct asupra admisiei. Pentru a încărca un alternator se va mări admisia și, pentru a-l descărca, se va reduce admisia motorului de antrenare. În concluzie, sarcina activă a unui alternator poate fi reglată numai prin acționarea directă a motorului de antrenare.

3. FUNCȚIONAREA ÎN PARALEL A MAȘINILOR SINCRONE

● **Condițiile impuse de funcționarea în paralel.** Două sau mai multe generatoare sincrone funcționează în paralel cînd debitează împreună pe aceleași bare. Această operație nu se poate face decît dacă sînt îndeplinite următoarele condiții :

— mașina trebuie adusă la viteza de sincronism corespunzătoare frecvenței rețelei la care urmează să fie conectată ;

— tensiunea la bornele generatorului acesteia trebuie să fie egală cu tensiunea rețelei ;

— în momentul cuplării trebuie să existe opoziție de fază între tensiunea rețelei și tensiunea generatorului ;

— succesiunea fazelor indusului să fie aceeași ca a rețelei.

● **Cuplarea la rețea a mașinii sincrone** se face astfel :

— mașina sincronă este adusă la viteza de sincronism cu ajutorul motorului de antrenare. Verificarea corespondenței frecvenței se face cu ajutorul a două frecvențmetre, dintre care unul indică frecvența rețelei, iar celălalt, frecvența curenților statorici ai mașinii care trebuie conectată la rețea ;

— mașina sincronă se excită astfel, încît să se ajungă la o tensiune egală cu a rețelei. Verificarea se face cu ajutorul a două voltmetre ;

— se verifică succesiunea fazelor cu un aparat special, care indică succesiunea lor, denumit *sincronoscop*.

● **Metode de verificare a succesiunii fazelor.** Cel mai simplu sincronoscop se compune din lămpi instalate pe fiecare fază, în derivație cu întreruptorul generatorului.

— La *montajul prin stingere (fig. 2-30, a)* dacă lămpile se sting și se aprind toate simultan, înseamnă cu succesiunea fazelor este bună ; dacă lămpile se sting și se aprind pe rînd, înseamnă că succesiunea fazelor nu este bună.

Cuplarea la rețea trebuie făcută în momentul cînd lămpile rămîn stinse mult timp, adică atunci cînd mașina și barele sînt în concordanță de fază.

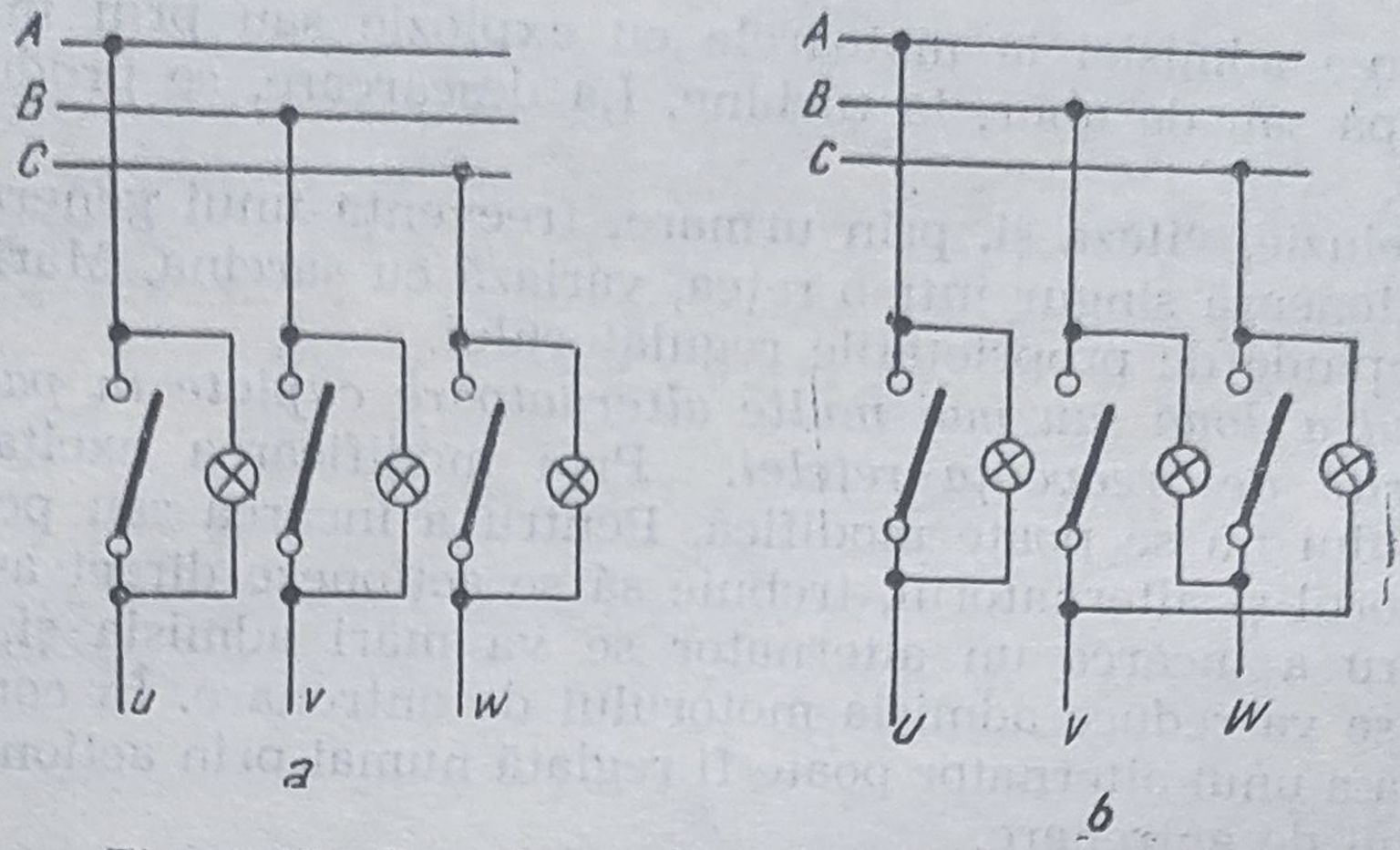


Fig. 2-30. Conectarea lămpilor sincronoscopului :
a — montaj prin stingere ; *b* — montaj prin aprindere.

La cel de *al doilea montaj* (fig. 2-30, *b*), succesiunea fazelor este bună în cazul cînd lămpile se aprind succesiv. Aprinderea lămpilor se face într-un sens sau într-altul, după cum mașina care trebuie cuplată se rotește mai repede sau mai încet decît viteza de sincronism.

Cuplarea la rețea trebuie făcută în momentul cînd lampa legată direct este stinsă.

În prezent, se folosesc în instalațiile electrice din centrale sincronoscoape mai perfecționate.

4. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MOTORULUI SINCRON

Mașina sincronă funcționînd în regim de motor absoarbe de la rețea energie electrică și produce la arbore energie mecanică.

Conectînd înfășurarea statorului la o sursă de curent alternativ trifazat, în întrefier apare un cîmp magnetic învîrtitor, a cărui viteză de rotație depinde de frecvența curentului și de numărul de poli ai statorului.

Să considerăm **cazul cel mai simplu,** al unui **stator avînd o singură spiră pe pol,** parcursă de curent alternativ în sensul indicat în figura 2-31, *a*.

Bobinajul rotoric este astfel executat încît conectîndu-l la o sursă de curent continuu, rotorul se magnetizează, putînd fi reprezentat printr-o coroană de poli magnetici nord și sud așezați succesiv.

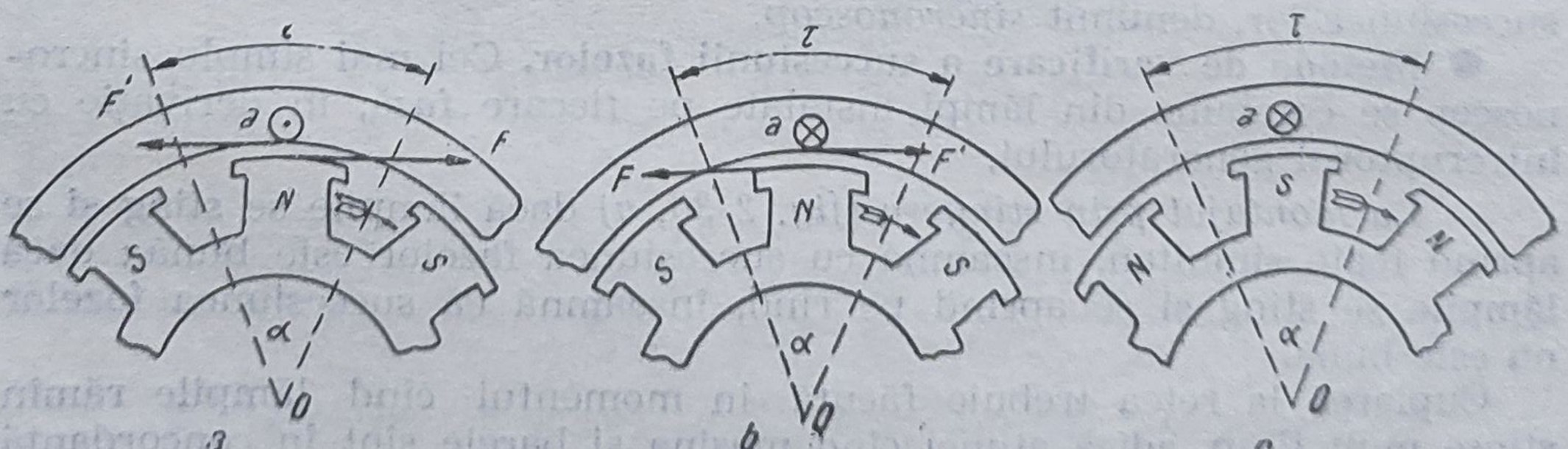


Fig. 2-31. Principiul de funcționare a motorului sincron.

În urma interacțiunii dintre cîmpul magnetic al unui pol rotoric și curentul electric statoric, asupra statorului va acționa o forță F', al cărei sens se determină cu regula mîinii stîngi. Deoarece statorul este fix, conform principiului reacțiunii asupra rotorului va acționa o forță F egală și de sens contrar. Această forță tinde să deplaseze rotorul spre dreapta. După o semiperioadă, sensul curentului din înfășurarea statorică se schimbă (fig. 2-31, *b*) deci se schimbă și sensul forței F. Acționînd asupra rotorului aflat în repaus, această forță va tinde să-l rotească spre stînga. Rezultă că în cursul unei perioade sensul forței ce acționează asupra rotorului își schimbă sensul de două ori. Cuplul de pornire rezultant în cursul unei perioade este egal cu zero și mașina nu pornește.

Să presupunem că în cursul intervalului de timp în care curentul își schimbă sensul, rotorul se rotește astfel încît în locul polului nord să ajungă un pol sud (fig. 2-31, *c*). În acest caz viteza de rotație a rotorului este egală cu viteza cîmpului învîrtitor statoric (mașina funcționează în sincronism). În această nouă situație, forța care acționează asupra rotorului are același sens ca în figura 2-31, *a* și deci rotorul se va roti în același sens. În concluzie, pentru ca motorul sincron să poată porni este necesar să existe un decalaj constant între polii magnetici ai statorului și rotorului.

5. METODE DE PORNIRE A MOTORULUI SINCRON

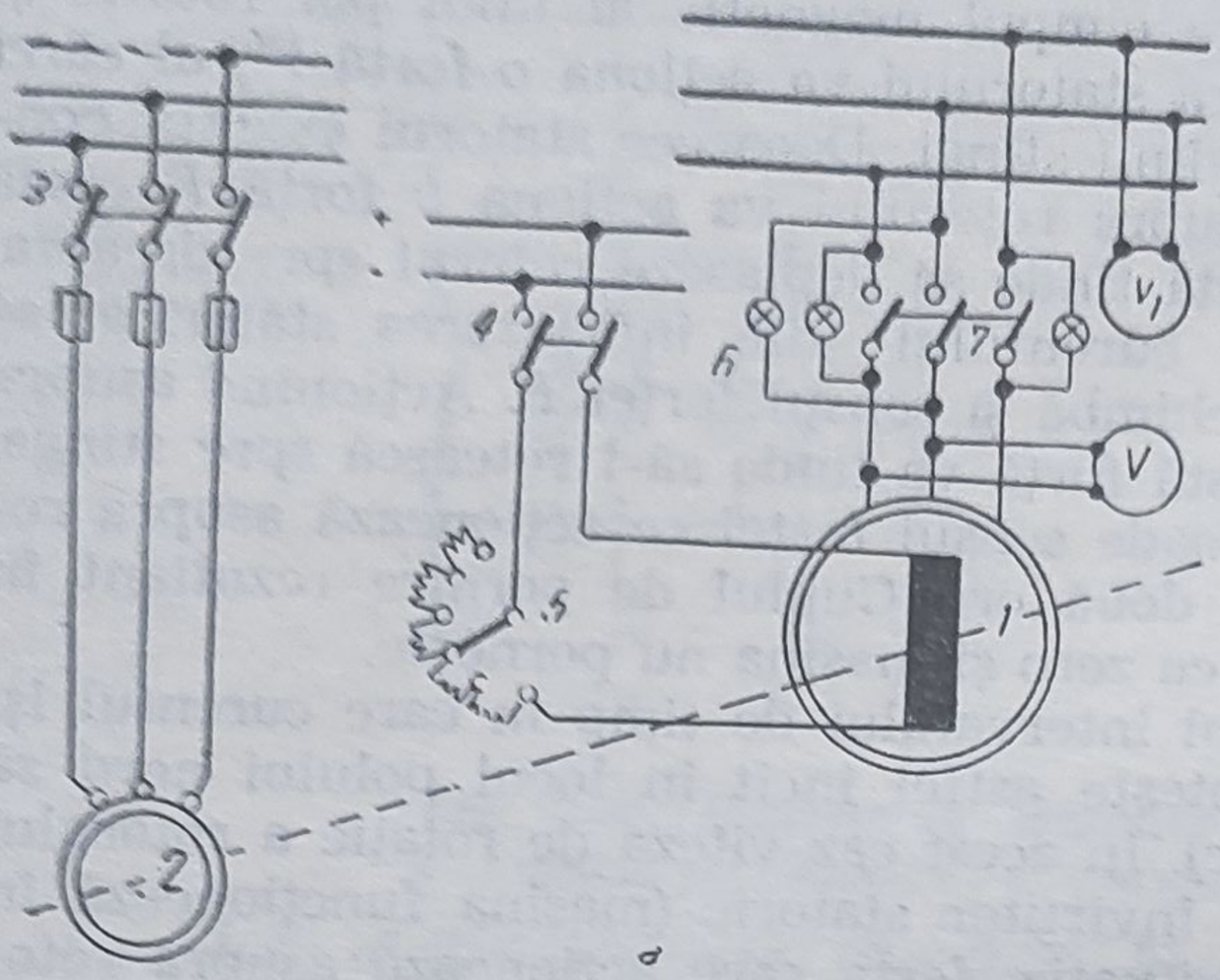
Deoarece motorul sincron nu poate porni printr-o simplă conectare la rețea, ci trebuie să fie adus la viteza de sincronism, se utilizează diferite metode pentru pornire.

● **Pornirea cu ajutorul unui motor auxiliar** se face conform schemei din figura 2-32, *a*. Rotorul motorului sincron *1*, este rotit cu ajutorul unui motor auxiliar *2* — alimentat de la rețea prin întreruptorul *3* — pînă se ajunge la viteza de rotație a cîmpului învîrtitor statoric (viteza de sincronism). Se închide apoi întreruptorul *4* și se alimentează în curent continuu înfășurarea rotorului. Pentru a conecta înfășurarea statorică la rețeaua trifazată în curent alternativ, motorul trebuie sincronizat la fel ca în cazul conectării generatorului sincron. Cînd motorul a intrat în sincronism, se închide întreruptorul *7*, iar motorul auxiliar *2* se deconectează prin deschiderea întreruptorului *3*. Rotorul se rotește în continuare singur. Această metodă se utilizează rar, deoarece necesită un motor suplimentar.

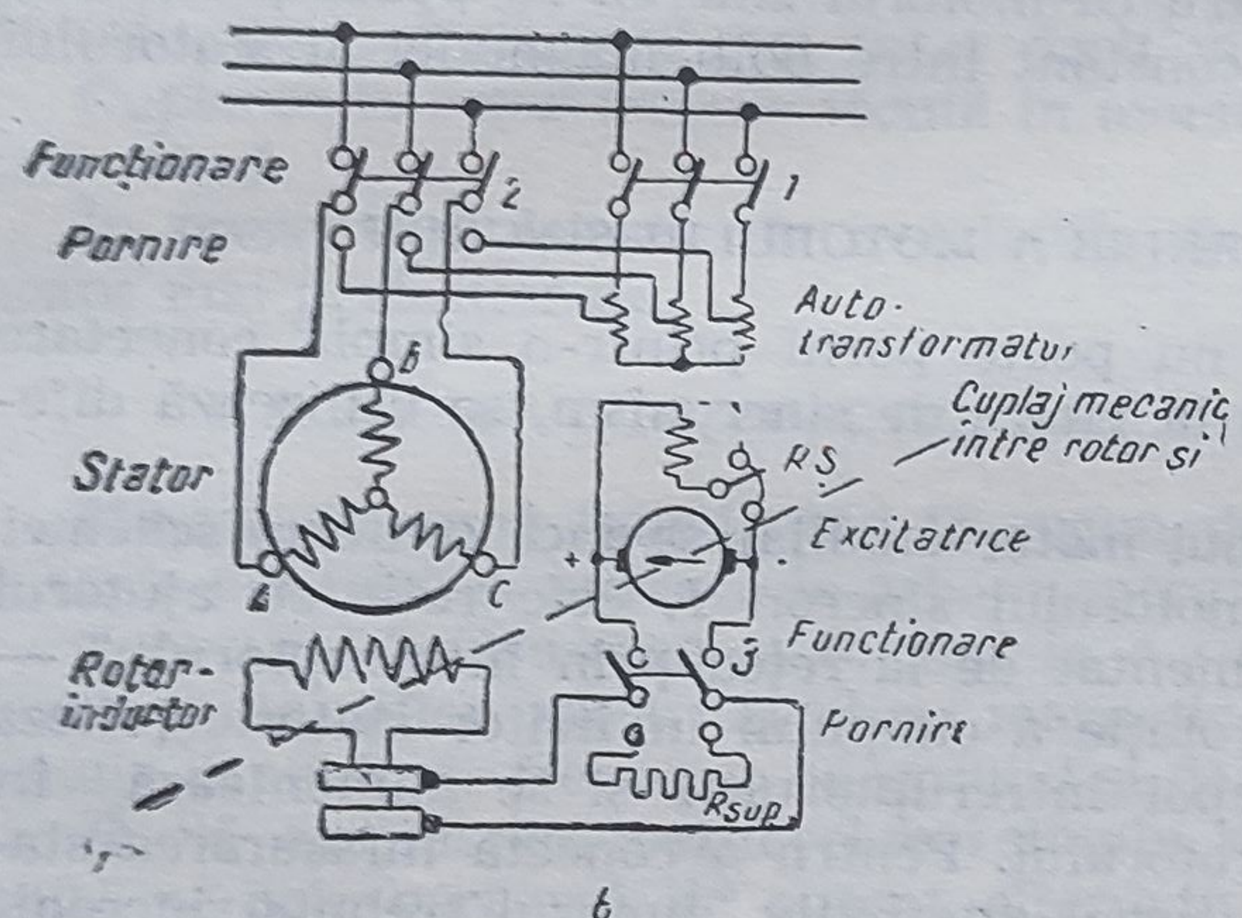
● **Pornirea asincronă a motorului sincron** se face conform schemei din figura 2-32, *b*. În acest scop, pe piesele polare ale rotorului se execută o înfășurare specială de pornire, utilizîndu-se niște bare de cupru scurtcircuitate la capete.

Dacă se conectează statorul motorului la rețeaua de curent alternativ trifazat, apare un cîmp magnetic învîrtitor. Acesta induce în înfășurarea de pornire curenții, care interacționează cu cîmpul magnetic producînd un cuplu și rotorul se pune în mișcare.

Această metodă este cea mai folosită, din cauza simplității și siguranței. Deoarece curentul la pornire este foarte mare (5—7 ori curentul nominal), se utilizează pornirea prin alimentare cu o tensiune redusă.



a



b

Fig. 2-32. Metodele de pornire a motorului sincron:
a — cu ajutorul unui motor auxiliar ; *b* — cu ajutorul autotransformatorului.

Succesiunea operațiilor pentru pornire este următoarea : se închide înfășurarea de excitație a excitatricei pe rezistența suplimentară cu întreruptorul *3* ; se închide apoi întreruptorul *1*. După ce rotorul ajunge la o turație egală cu 95% din turația de sincronism, se închide circuitul de excitație pe poziția de funcționare, conectînd rotorul la sursa de curent continuu, iar apoi se comută întreruptorul *2* pe poziția „Pornire' și se deschide întreruptorul *1*.

H. MAȘINA DE CURENT CONTINUU

1. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL GENERATORULUI DE CURENT CONTINUU

Mașina de curent continuu este mașina la bornele căreia tensiunea are valoarea constantă și își păstrează sensul.

Dacă prin înfășurarea de excitație aflată pe stator trece un curent continuu, se produce un cîmp magnetic ale cărui linii de forță se închid prin carcasă, polii principali, întrefier și rotor. Bobinele de excitație sînt astfel legate încît parcurgînd statorul, după un pol nord *N* urmează un pol sud *S*, apoi iar un pol nord *N* etc. Totalitatea liniilor de forță care ies sau intră într-un pol al statorului formează fluxul mașinii, numit *flux inductor* sau *flux principal*.

Pentru a explica principiul de funcționare al generatorului de curent continuu, *se va presupune că statorul are doi poli, iar înfășurarea rotorică — o spiră.* În această spiră, care se rotește într-un cîmp magnetic astfel încît conductoarele să taie liniile de forță, se induce o tensiune electromotoare. Dacă cele două capete ale înfășurării se leagă la două inele colectoare, se poate culege la aceste inele colectoare un curent alternativ. Dacă însă cele două capete ale spirei se leagă la două jumătăți de inele izolate între ele, tensiunea culeasă de periile care freacă pe aceste jumătăți de inele nu-și mai schimbă sensul. În adevăr atunci

cînd conductorul *ab* (fig. 2-33) este în partea superioară, în el se induce o tensiune electromotoare ; sensul ei se determină cu regula mîinii drepte. Se găseşte astfel că tensiunea electromotoare are sensul de la *b* la *a* în conductorul *ab*, şi de la *d* la *c* în conductorul *cd*. Deci : curentul va circula în interiorul spirei în direcţia *dcba*, iar în circuitul exterior — de la peria *A* la *B*. Cînd spira se roteşte şi ajunge perpendiculară pe direcţia liniilor de forţă, tensiunea electromotoare indusă va fi nulă şi prin circuit nu va trece curent. În continuare, spira se roteşte şi conductorul *cd* ajunge în partea superioară, iar *ab* în partea inferioară. Se observă că pe inelul la care se leagă extremitatea spirei *a* va călca peria *B*, iar pe inelul la care se leagă extremitatea *d* va călca peria *A*. Tensiunea care se induce în spiră dă naştere unui curent care va circula în spiră în sensul *a b c d*. În exterior, curentul va circula de la peria *A* la *B*, adică la fel ca în cazul precedent. Peria *A* atinge deci numai inelul la care este legat conductorul care se află sub polul nord, iar peria *B* atinge numai inelul la care este legat conductorul care se află sub polul sud. Prin spiră circulă un curent alternativ, iar în circuitul exterior, datorită sistemului de colectare a curentului prin inelul secţionat, acest curent este primit sub forma unui curent pulsatoriu (fig. 2-34, *a*). Pentru a reduce pulsaţiile curentului indus, maşinile se construiesc cu un număr mare de spire, repartizate cît mai uniform în cîmpul magnetic. Tensiunea la borne şi curentul în circuitul exterior rezultă practic continue. Inelul pe care calcă periile nu are numai două segmente, ci un număr mare, la care se leagă extremităţile conductoarelor, formînd colectorul.

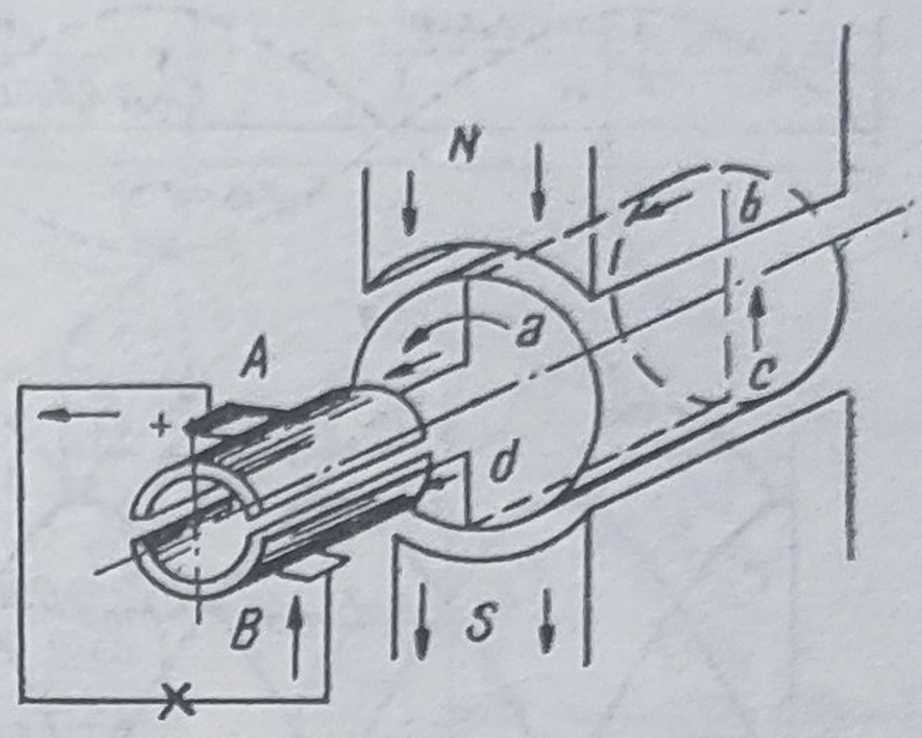


Fig. 2-33. Principiul producerii curentului la un generator de curent continuu.

În figura 2-34, *b*, este reprezentată curba t.e.m. culeasă la bornele unei maşini avînd două spire decalate în spaţiu la 90° (*T/4*) şi legate la patru lamele. Tensiunea culeasă la perii pulsează între valorile E_{max} şi E_{min}. În spire se induc tensiunile e_1 şi e_2. În cazul cînd există trei spire decalate la *T/6* (fig. 2-34, *c*), pulsaţiile t.e.m. culeasă la perii sînt mai numeroase şi diferenţa dintre E_{max} şi E_{min}, este mai mică decît în situaţia din figura 2-34, *b*.

Valoarea tensiunii electromotoare într-o latură activă de lungime *l* (ex. *ab*) a spirei se poate stabili cu ajutorul relaţiei cunoscută din vol. I :

$$E=Blv,$$

iar sensul ei se determină cu regula mîinii drepte.

În celălalt conductor activ al spirei *(dc)*, se induce o tensiune electromotoare egală şi de sens contrar cu prima, astfel că tensiunea electromotoare totală indusă în spiră va fi :

$$E=2Blv.$$

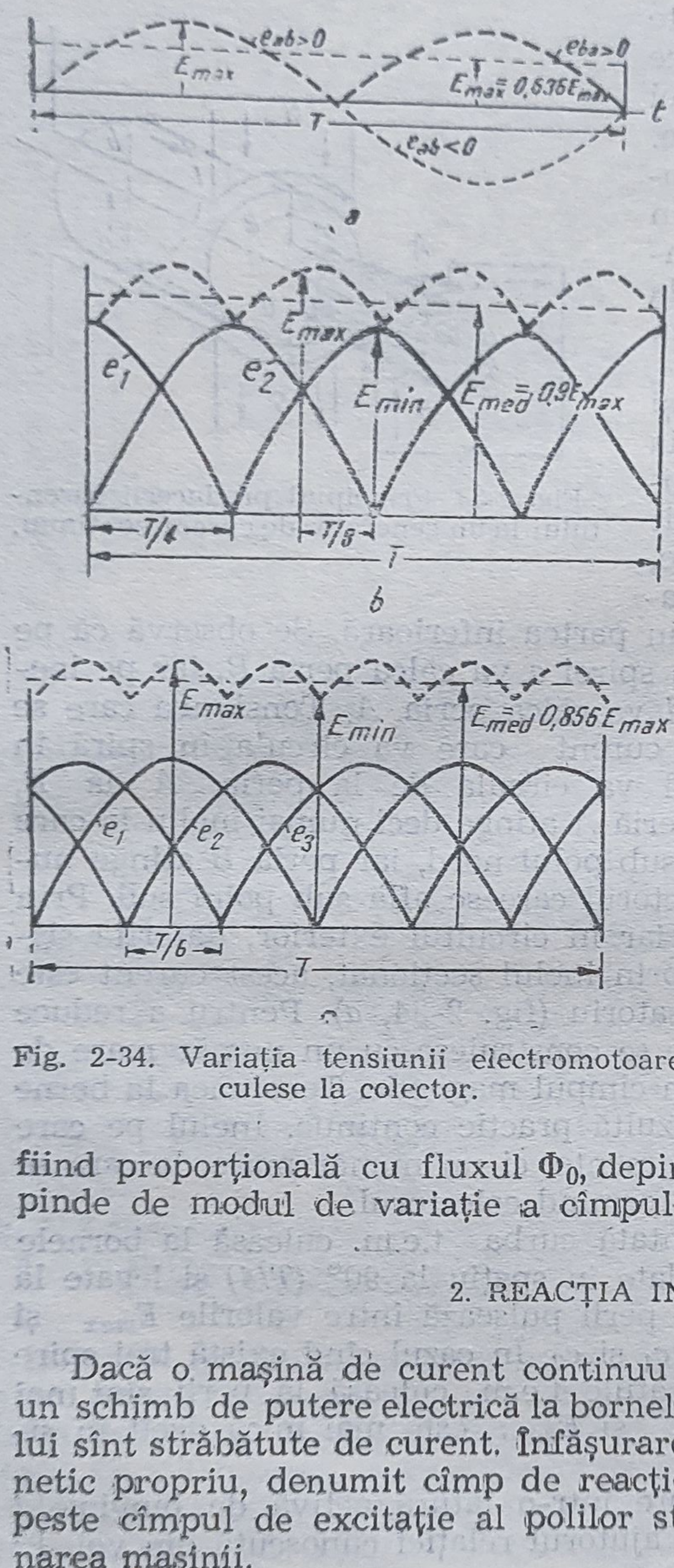


Fig. 2-34. Variația tensiunii electromotoare culese la colector.

Viteza liniară v este dată de relația :

$$v=\frac{\pi Dn}{60}=\frac{2p\tau n}{60},$$

unde n este turația, în rot/min, τ — pasul polar, iar p — numărul de perechi de poli.

Înlocuind în expresia t.e.m., se obține :

$$E=\frac{4pBl\tau n}{60},$$

Produsul $Bl\tau$ reprezintă fluxul maxim care străbate spira și se va nota cu Φ_0.

În cazul cînd bobina are w spire în serie, tensiunea electromotoare va fi :

$$E=\frac{4pw}{60}n\Phi_0=k_e n\Phi_0.$$

Deci t.e.m. indusă în înfășurarea rotorului depinde de unele mărimi constructive (p,w) și de unele mărimi funcționale (fluxul Φ_0 al polilor de excitație și viteza n de rotație). T.e.m. E fiind proporțională cu fluxul Φ_0, depinde de curentul de excitație și nu depinde de modul de variație a cîmpului magnetic la periferia rotorului.

2. REACȚIA INDUSULUI

Dacă o mașină de curent continuu este conectată la o rețea și există un schimb de putere electrică la bornele mașinii, spirele înfășurării rotorului sînt străbătute de curent. Înfășurarea rotorului produce un cîmp magnetic propriu, denumit cîmp de reacție. Cîmpul de reacție se suprapune peste cîmpul de excitație al polilor statorici și poate influența funcționarea mașinii.

Se va presupune în cele ce urmează **că periile sînt fixate pe axa neutră și că mașina studiată** are $2p=2$ poli. Cîmpul produs de înfășurarea de excitație în cazul că înfășurarea rotorului nu este parcursă de curent, este arătat în figura 2—35, *a*.

Cîmpul produs de înfășurarea rotorului atunci cînd aceasta este străbătută de curent, iar înfășurarea de excitație nu este alimentată, este ilustrat în figura 2—35, *b*. Pe o jumătate a unei piese polare, în întrefier, liniile

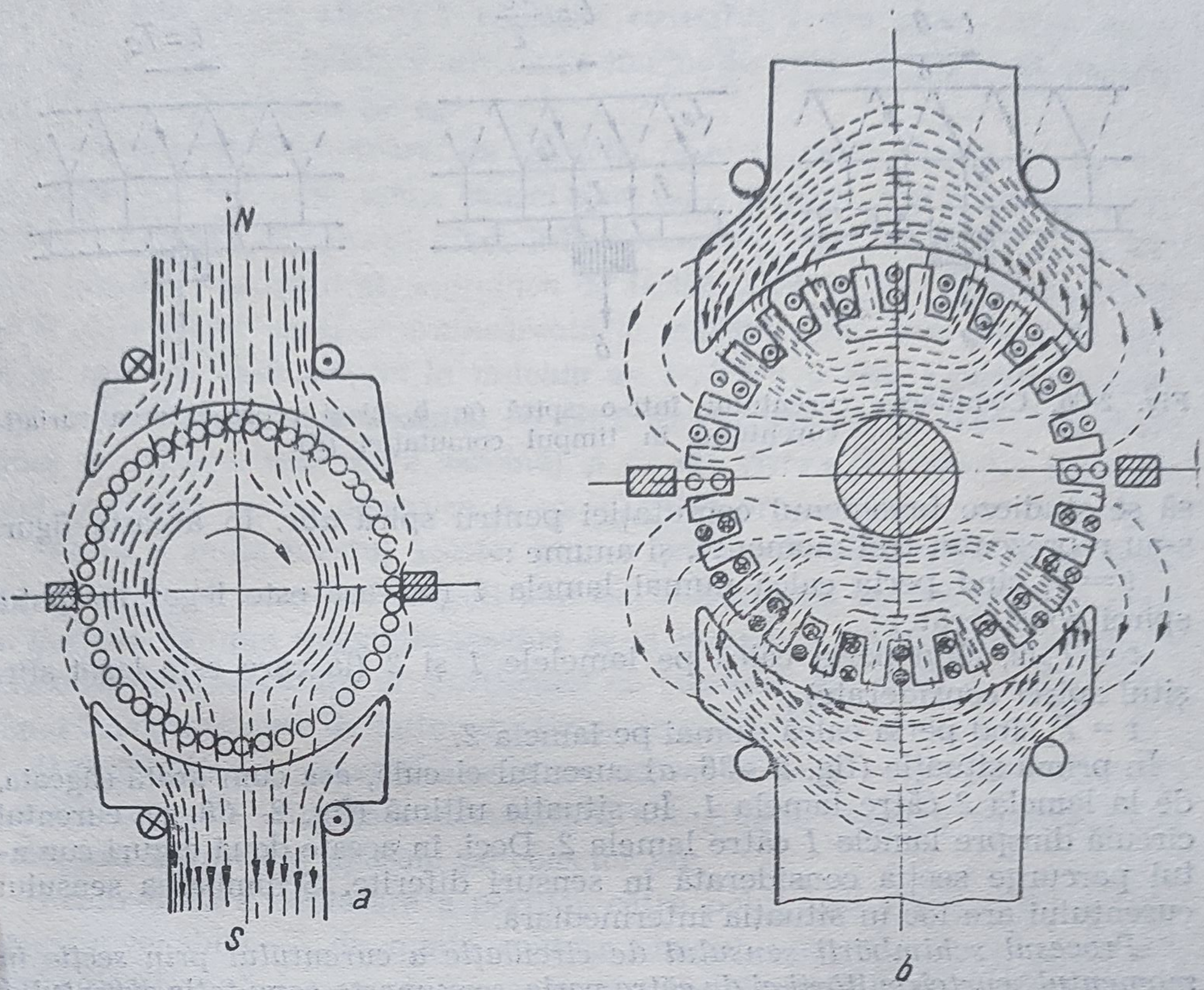


Fig. 2-35. Spectrul cîmpului magnetic al mașinii de curent continuu :
a — funcționînd în gol ; b — de reacție transversală.

de cîmp ale cîmpului de reacție au același sens ca și liniile de cîmp ale cîmpului de excitație. Pe cealaltă jumătate a aceleiași piese polare, liniile cîmpului de reacție au sens contrar liniilor cîmpului de excitație. Deci cîmpul de reacție întărește cîmpul de excitație pe o jumătate a piesei polare și îl slăbește pe cealaltă jumătate a acesteia.

În funcționarea normală a mașinii, cele două cîmpuri (de excitație și de reacție) se suprapun, dînd un cîmp rezultant. Cîmpul rezultant este deformat, în sensul că liniile de cîmp sînt mai dese sub o jumătate a piesei polare și mai rare sub cealaltă jumătate, iar pe axele interpolare cîmpul rezultant nu este nul.

3. COMUTAȚIA

Pentru mașinile electrice cu colector, de foarte mare importanță este fenomenul comutației. Pentru a-l înțelege, se consideră o porțiune de bobinaj care se află în vecinătatea unei perii. Cu ajutorul figurii 2-36 urmează

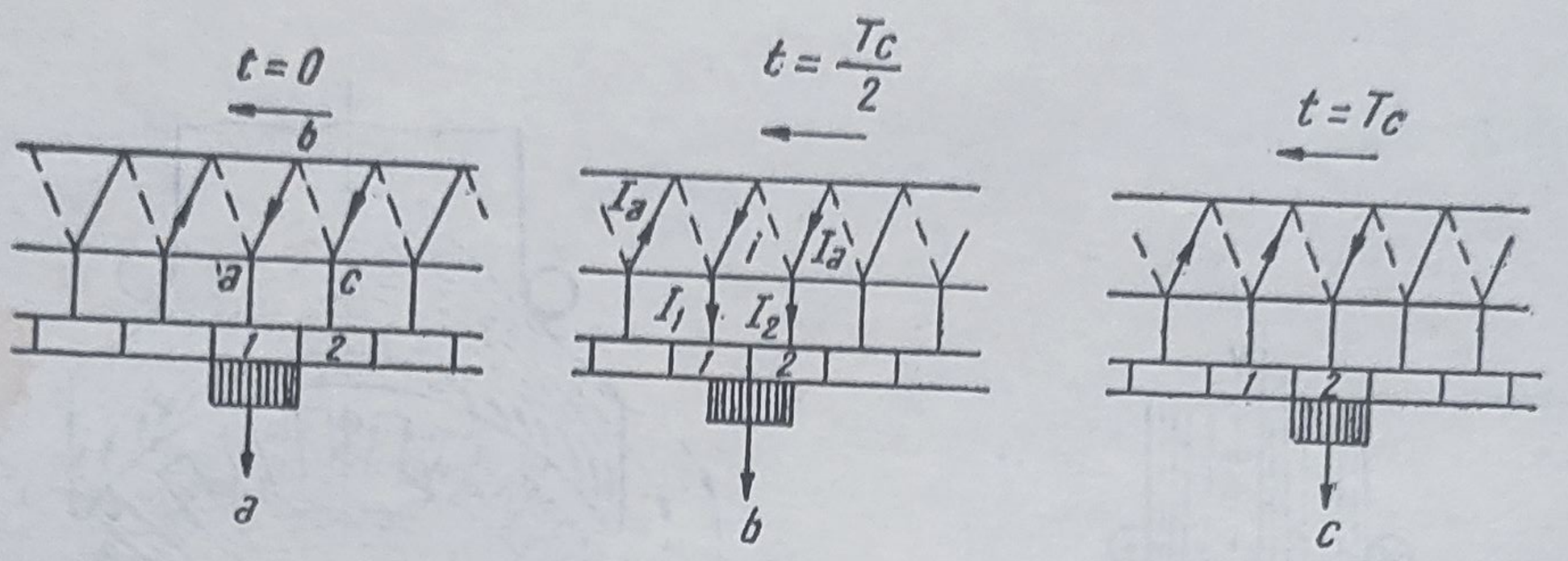


Fig. 2-36. Comutarea curentului într-o spiră *(a, b, c)* și reprezentarea variației curentului în timpul comutației *(d)*.

să se studieze fenomenul comutației pentru spira *abc*. În această figură s-au reprezentat trei momente, și anume :

$t = 0$, cînd peria calcă numai lamela *1* (la care este legat începutul spirei considerate) ;

$t = T_c/2$, cînd peria calcă pe lamelele *1* și *2* (la care este legat sfîrșitul spirei considerate) ;

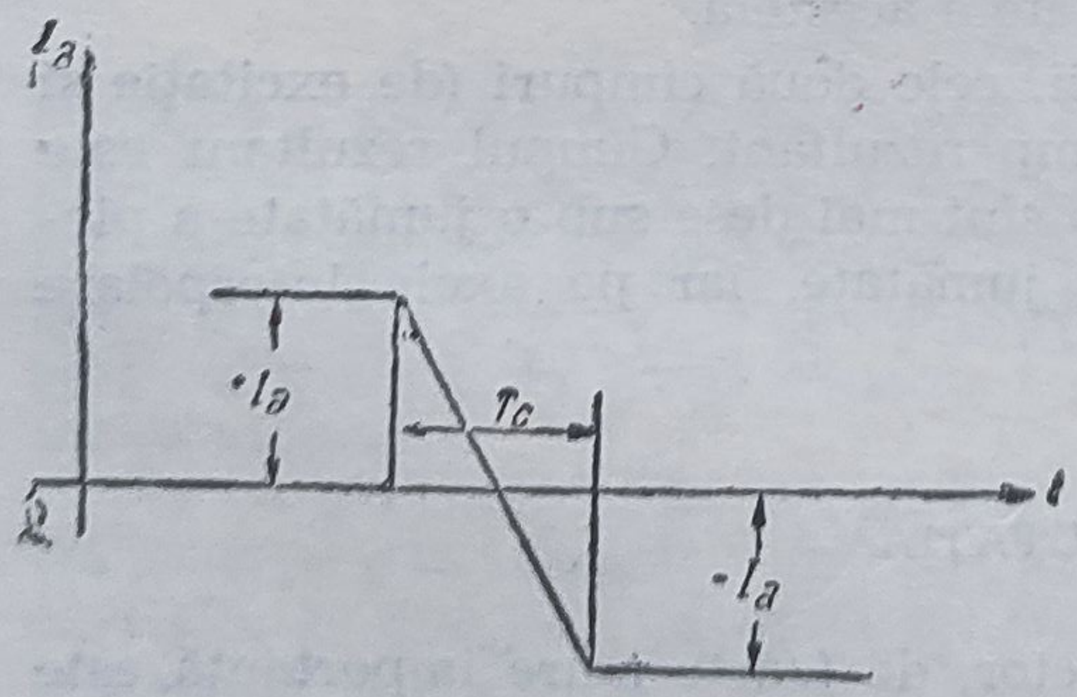
$t = T_c$ cînd peria calcă numai pe lamela *2*.

În prima situație (fig. 2—36, *a)* curentul circulă, așa cum arată săgeata, de la lamela *2* către lamela *1*. În situația ultimă (fig. 2—36, *c*), curentul circulă dinspre lamela *1* către lamela *2*. Deci, în aceste două cazuri curentul parcurge secția considerată în sensuri diferite. Schimbarea sensului curentului are loc în situația intermediară.

Procesul schimbării sensului de circulație a curentului prin secție în momentul scurtcircuitării ei de către perie, se numește comutația curentului.

Comutația începe în momentul cînd lamela la care este legat începutul secției (în sensul mișcării) atinge peria, și se termină atunci cînd peria nu mai este în contact cu lamela pe care peria s-a aflat inițial.

● **Scînteierea.** Timpul care se scurge între situațiile din figurile 2—36, *a* și 2—36, *c* se numește *perioada comutației* (T_c). În figura 2—36,*d* este reprezentată variația curentului în timpul perioadei de comutație.



d

Fig. 2-36, *d*.

În realitate, variația curentului nu este liniară, datorită mai multor cauze.

În primul rînd, în zona în care se află secția ce comută există nu numai cîmpul de excitație al inductorului, ci și cîmpul de reacție al indusului, care chiar aici are valoarea maximă. Cîmpul de reacție, de inducție B_r, este proporțional cu curentul din indus I_a ; prin deplasarea spirei în acest cîmp va lua naștere o t.e.m. de inducție e_r.

Pe de altă parte, datorită variației curentului din spiră între valorile $+I_a$ și $-I_a$, se produce un cîmp magnetic variabil care dă naștere unei t.e.m. de autoinducție e_a.

Tensiunile electromotoare, de inducție e_r și e_a au același sens și, conform legii lui Lenz, se opun cauzei care le-a produs adică variației curentului. Aceasta are drept efect întîrzierea inversării curentului în secția ce comută. Ca rezultat, *marginea de ieșire a periei, la sfîrșitul perioadei de comutație, va fi supraîncărcată de curent, fapt care duce* de obicei *la apariția unor scîntei la muchia de ieșire a periei.* Apariția scînteierii este cu atît mai probabilă, cu cît curentul din indus este mai mare (adică cu cît este mai mare sarcina) și cu cît viteza de variație a curentului este mai mare, deoarece e_r și e_a sînt proporționale cu v și I_a.

Pentru a anula efectul acestor t.e.m., între polii principali se plasează așa-numiții *poli auxiliari.* Acești poli au înfășurarea de excitație în serie cu indusul. Cîmpul magnetic produs de ei induce în spira care comută, o tensiune electromotoare proporțională cu curentul I_a, egală și opusă tensiunii electromotoare de autoinducție și de reacție.

O înrăutățire a comutației se poate datora și unor cauze mecanice ca: indus descentrat, suprafața colectorului neregulată, colector ovalizat, periile uzate sau insuficient apăsate pe colector etc.

Printr-o mică deplasare a periilor către polul inductorului de polaritate convenabilă — de nume contrar cîmpului de reacție transversală din aceeași zonă — se obține o t.e.m. suplimentară care compensează tensiunea $e_r + e_a$. Într-o anumită poziție a periilor, compensarea se realizează doar pentru o anumită valoare a curentului I_a, ceea ce constituie un serios dezavantaj al metodei. Pentru acest motiv, această metodă se utilizează numai la mașini cu puterea sub 1 kW.

4. TIPURI DE GENERATOARE DE CURENT CONTINUU

Generatoarele de curent continuu se clasifică după modul cum se alimentează bobinajul lor de excitație. Schemele care arată diferitele posibilități de alimentare a bobinajului de excitație sînt arătate în figurile 2—37, 2—38, 2—39, 2—40. Pe aceste scheme cercul cu cele două perii reprezintă indusul ; bobinajul figurat prin simbolul general de inductanță reprezintă bobinajul de excitație ; curentul I_{ex} este curentul de excitație ; curentul I_a este curentul în indus, iar curentul I reprezintă curentul de sarcină al mașinii, debitat în rețeaua cu tensiunea U.

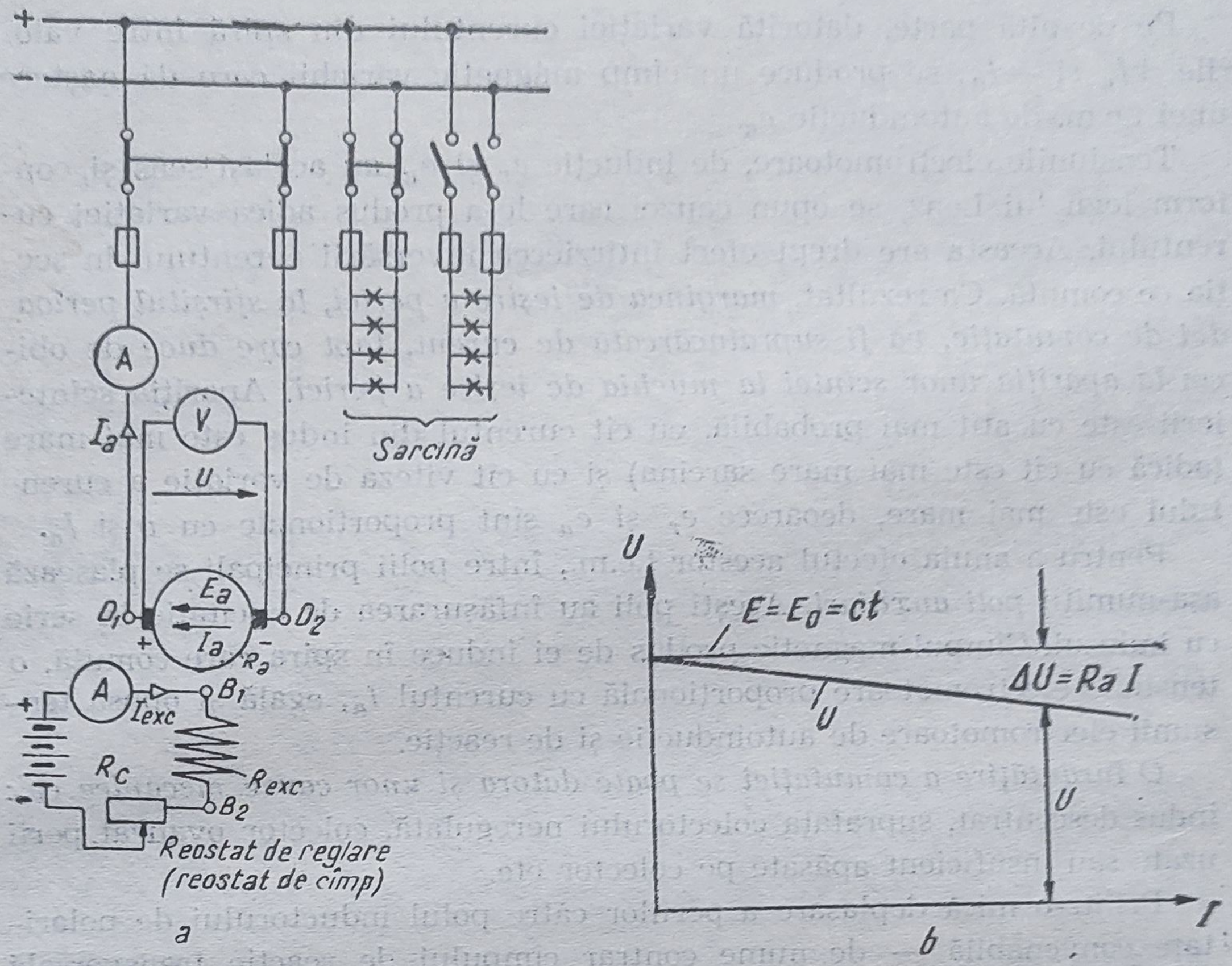


Fig. 2-37. Generator cu excitaţie independentă :
a — schema electrică ; b — caractersitica externă.

Din punctul de vedere al posibilităţilor de alimentare a bobinajelor de excitaţie, generatoarele se împart în două mari grupe :

— generatoare care primesc curentul de excitaţie de la o sursă separată de curent continuu, numite *generatoare cu excitaţie separată* (fig. 2—37, *a*) ;

— generatoare care îşi produc singure curentul de excitaţie, numite *generatoare cu autoexcitaţie.*

Generatoarele cu autoexcitaţie pot fi :

— *cu excitaţie-derivaţie,* la care bobinajul de excitaţie este alimentat de tensiunea *U* de la bornele generatorului (fig. 2—38) ;

— *cu excitaţie-serie,* la care bobinajul de excitaţie este parcurs în serie de curentul de sarcină *I* al maşinii (fig. 2—39), curentul *I* fiind şi curent de excitaţie ;

— *cu excitaţie mixtă* (compund) ; asemenea generatoare au o excitaţie-derivaţie alimentată de la perii şi una serie, parcursă de curentul *I* de sarcină (fig. 2—40).

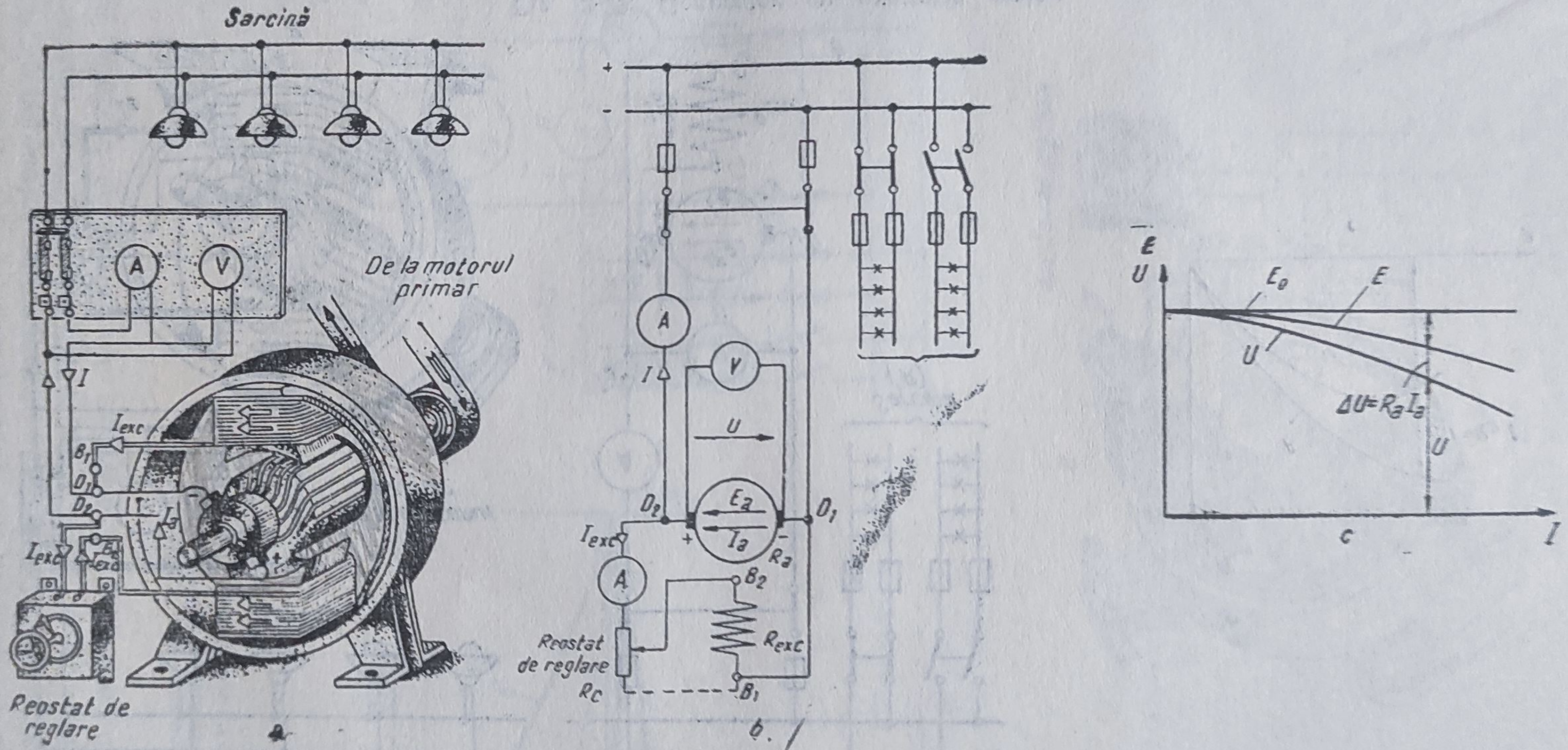


Fig. 2-38. Generator cu excitație derivație :

a — schema funcțională ; *b* — schema electrică ; *c* — caracteristica externă.

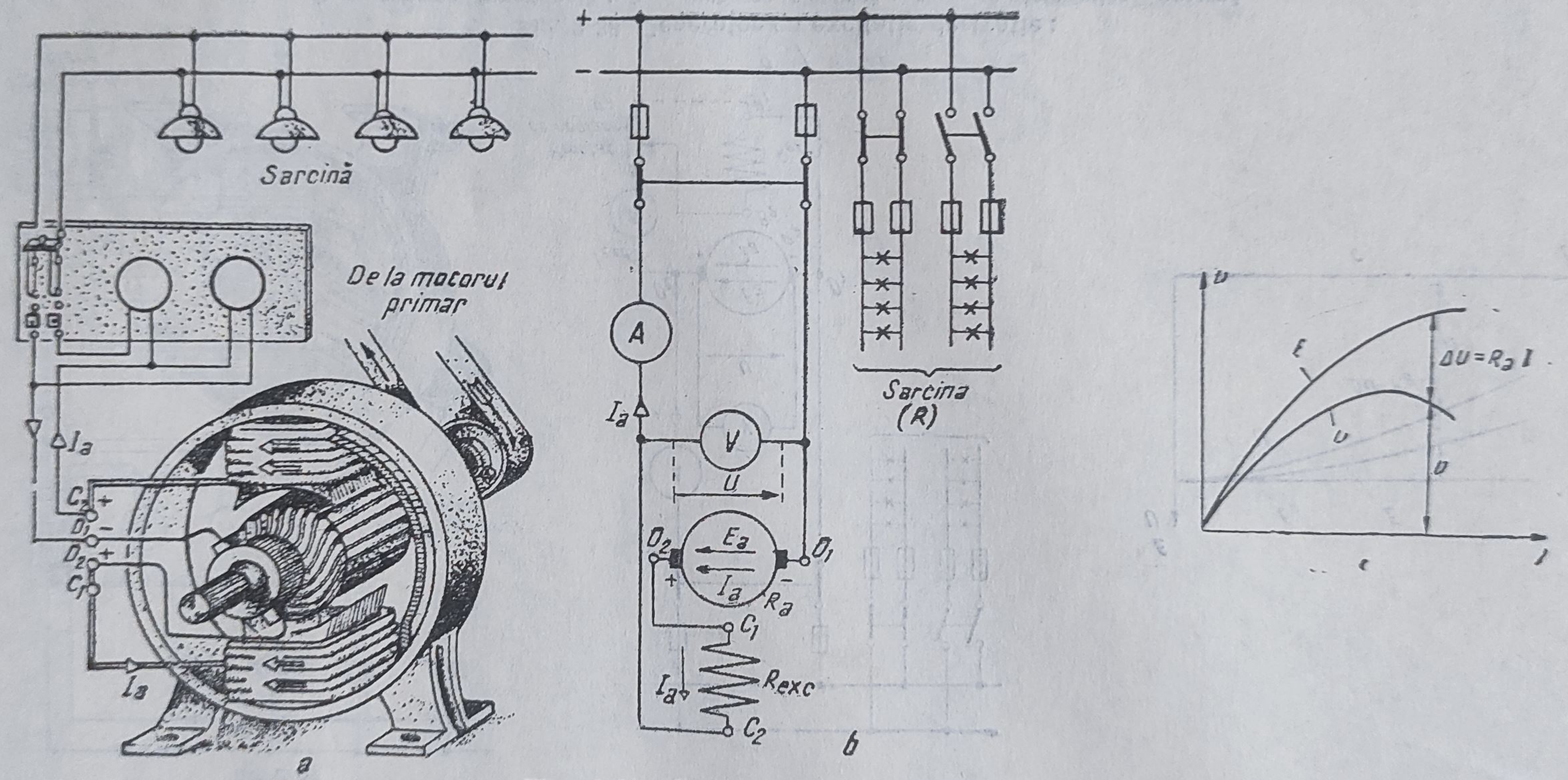
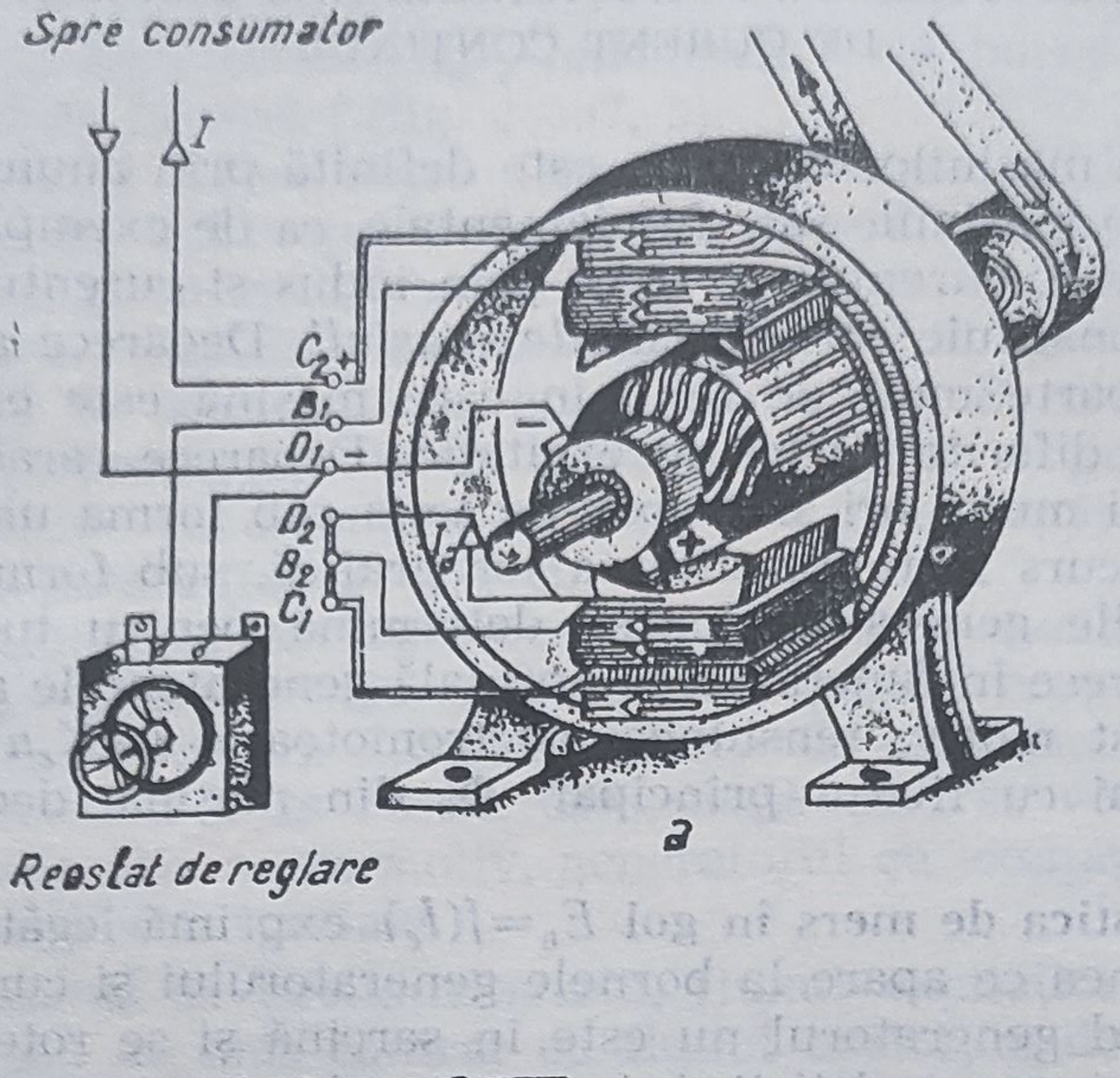


Fig. 2-39. Generator cu excitaţie serie :
a — schema funcţională ; *b* — schema electrică ; *c* — caracteristica externă.



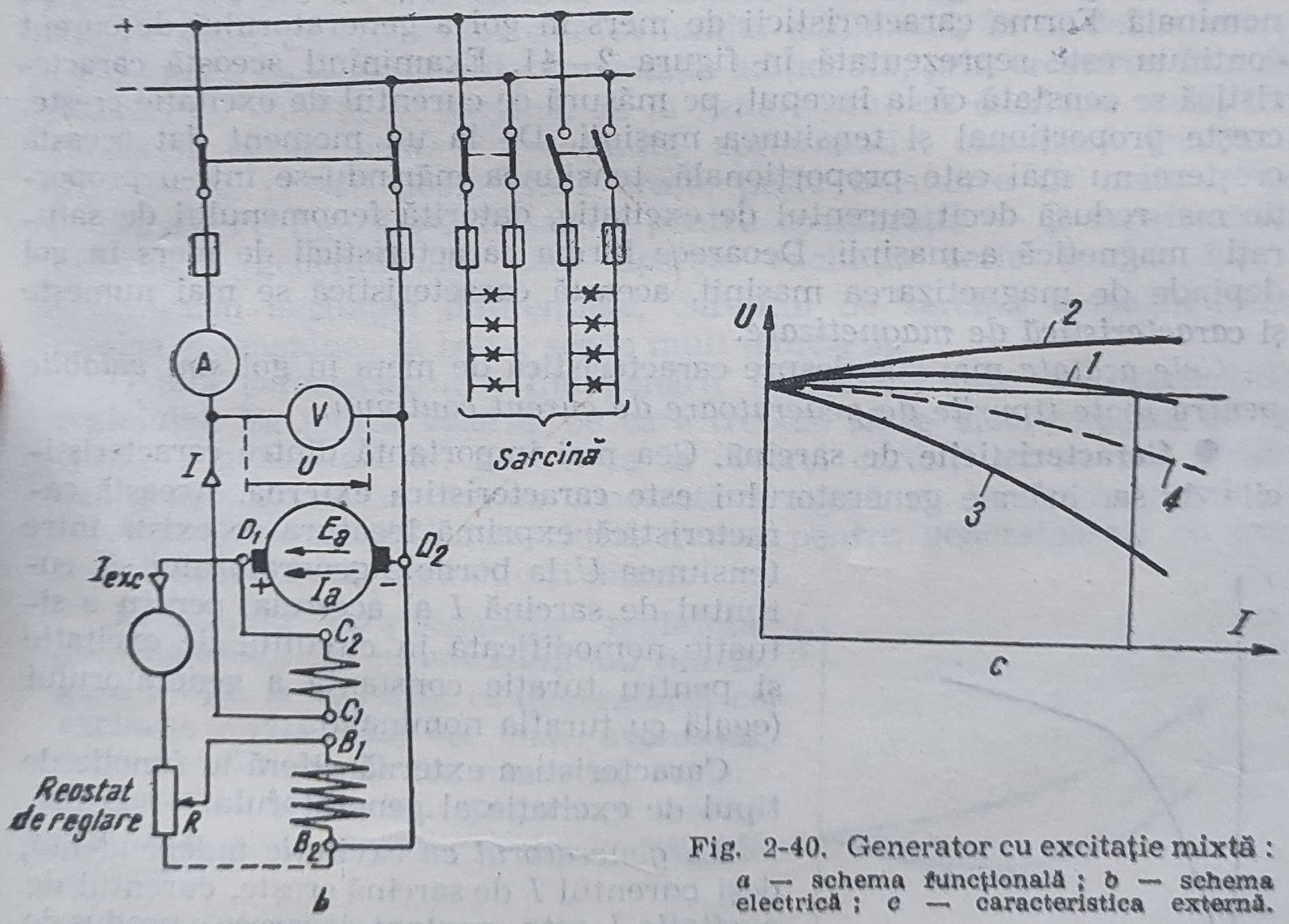


Fig. 2-40. Generator cu excitaţie mixtă :
a — schema funcţională ; *b* — schema electrică ; *c* — caracteristica externă.

Pentru reglarea curentului de excitaţie se foloseşte un reostat R_c, denumit *reostat de excitaţie* sau *reostat de cîmp* ; acest reostat este montat în serie cu bobinajul de excitaţie — la bobinajele de excitaţie separată sau derivaţie sau în paralel cu bobinajul — la bobinajul de excitaţie-serie.

5. CARACTERISTICILE DE FUNCȚIONARE ALE GENERATOARELOR DE CURENT CONTINUU

Funcționarea mașinilor electrice este definită prin anumite relații care se stabilesc între mărimile sale fundamentale, ca de exemplu : între tensiunea de la borne, curentul ce trece prin indus și curentul de excitație. Aceste relații constituie *caracteristicile mașinii*. Deoarece aceste caracteristici depind foarte mult de felul în care mașina este excitată, ele se definesc pentru diferite tipuri de excitație. Deoarece caracteristicile mașinii de cele mai multe ori sînt greu de scris sub forma unor relații matematice, s-a recurs la reprezentarea lor grafică, sub forma unor curbe.

Caracteristicile generatoarelor se determină pentru turația constantă a acestora, deoarece în funcționarea normală generatoarele au turația constantă. Din acest motiv, tensiunea electromotoare $E=K_e n\,\Phi_0$ va fi proporțională numai cu fluxul principal Φ_0 din mașină, deci cu curentul de excitație I_e.

● **Caracteristica de mers în gol** $E_0=f(I_e)$ exprimă legătura care există între tensiunea ce apare la bornele generatorului și curentul de excitație, atunci cînd generatorul nu este în sarcină și se rotește cu turația nominală. Forma caracteristicii de mers în gol a generatorului de curent continuu este reprezentată în figura 2—41. Examinînd această caracteristică se constată că la început, pe măsură ce curentul de excitație crește, crește proporțional și tensiunea mașinii. De la un moment dat această creștere nu mai este proporțională, tensiunea mărindu-se într-o proporție mai redusă decît curentul de excitație, datorită fenomenului de saturație magnetică a mașinii. Deoarece forma caracteristicii de mers în gol depinde de magnetizarea mașinii, această caracteristică se mai numește și *caracteristică de magnetizare.*

Cele arătate mai sus despre caracteristica de mers în gol *sînt valabile pentru toate tipurile de generatoare de curent continuu.*

● **Caracteristicile de sarcină.** Cea mai importantă dintre caracteristicile de sarcină ale generatorului **este caracteristica externă.** Această caracteristică exprimă legătura ce există între tensiunea U la bornele generatorului și curentul de sarcină I al acestuia, pentru o situație nemodificată în circuitul de excitație și pentru turație constantă a generatorului (egală cu turația nominală).

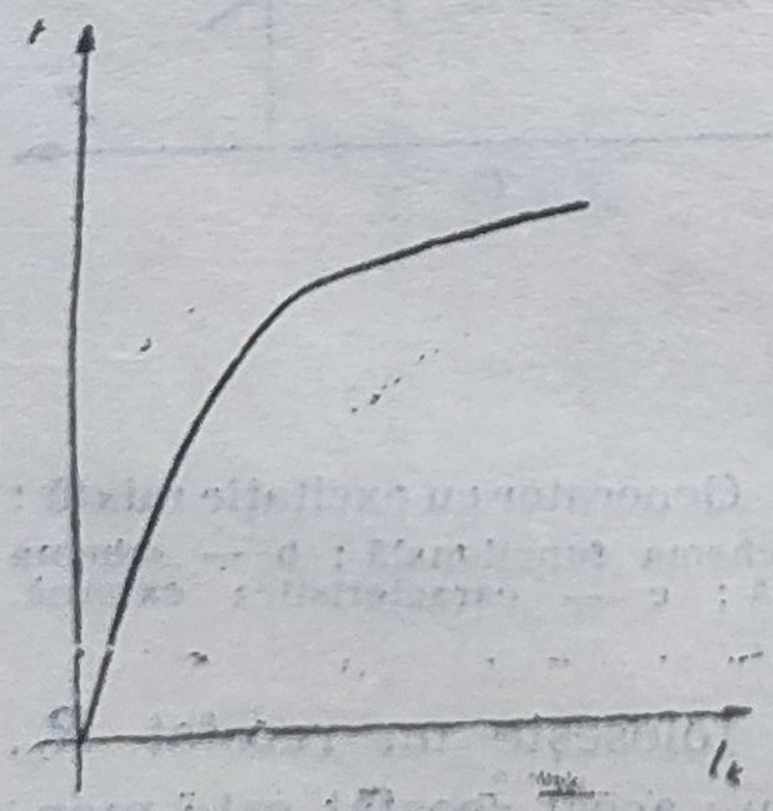


Fig. 2-41. Caracteristica de mers în gol a generatoarelor de curent continuu.

Caracteristica externă diferă în funcție de tipul de excitație al generatorului.

La *generatorul cu excitație independentă*, deși curentul I de sarcină crește, curentul de excitație I_e este constant deoarece e produs de o sursă independentă. În consecință t.e.m în sarcină E, rămîne egală cu t.e.m. E_0, de la mersul în gol. Căderea de tensiune $\Delta U=R_a I$ este datorată rezistenței R_a a indusului, și crește cu creșterea curentului de sarcină.

Conform relației $U=E-R_aI$, tensiunea U la borne scade proporțional cu semnul de sarcină I (fig. 2—37, *b*).

La generatorul cu excitație derivație tensiunea U la borne scade cu sarcina. Deoarece bobinajul de excitație este alimentat de tensiunea U, scade simultan și curentul de excitație I_e. Acest lucru atrage după sine scăderea valorii tensiunii electromotoare induse E, care devine mai mică decît valoarea E_0 la mersul în gol : $E<E_0$. Din E se scade căderea de tensiune R_aI_a, proporțională cu curentul I_a, și se obține tensiunea U la borne, care scade cu creșterea sarcinii mai mult decît la generatorul cu excitație separată (fig. 2—38, *c*).

La generatorul cu excitație serie, curentul de excitație este curentul de sarcină $I_e=I$, deci tensiunea electromotoare E crește mult o dată cu curentul I (fig. 2—39, *c*). Scăzînd căderea de tensiune R_aI din t.e.m E, se obține tensiunea U la borne, care, după cum se vede, variază foarte mult cu sarcina. Din acest motiv, generatorul cu excitație serie este folosit numai în aplicații speciale.

La *generatorul cu excitație mixtă*, fluxul excitației-serie poate fi de același sens sau de sens contrar cu fluxul excitației derivație. În primul caz, *excitația* generatorului este denumită *adițională*, în al doilea caz — *diferențială*. La generatorul cu excitație adițională, prin creșterea fluxului datorită curentului de sarcină, ca la generatorul cu excitație serie, tensiunea la borne poate fi menținută aproximativ constantă (curba *1*, (fig. 2—40, *c*) sau poate chiar crește peste tensiunea de mers în gol (curba *2*). Pe figură s-a trasat — pentru comparație — și caracteristica externă a generatorului cînd lipsește excitația serie (curba *4*).

În cazul excitației diferențiale, curentul de sarcină demagnetizează mașina și tensiunea la borne scade mult (curba *3*.)

O altă caracteristică a funcționării în sarcină este și **caracteristica reglajului.** Ea indică valorile pe care trebuie să le aibă curentul de excitație a generatorului, pentru ca la diverși curenți de sarcină tensiunea generatorului să rămînă constantă și egală cu tensiunea nominală.

Această caracteristică se ridică numai pentru generatoarele cu excitație independentă, derivație și mixtă.

Examinînd caracteristicile reglajului generatoarelor de curent continuu din figura 2—24, se constată că generatorul cu excitație mixtă este cel mai avantajos, deoarece el necesită cea mai mică reglare în circuitul de excitație pentru ca tensiunea la bornele mașinii să fie menținută constantă.

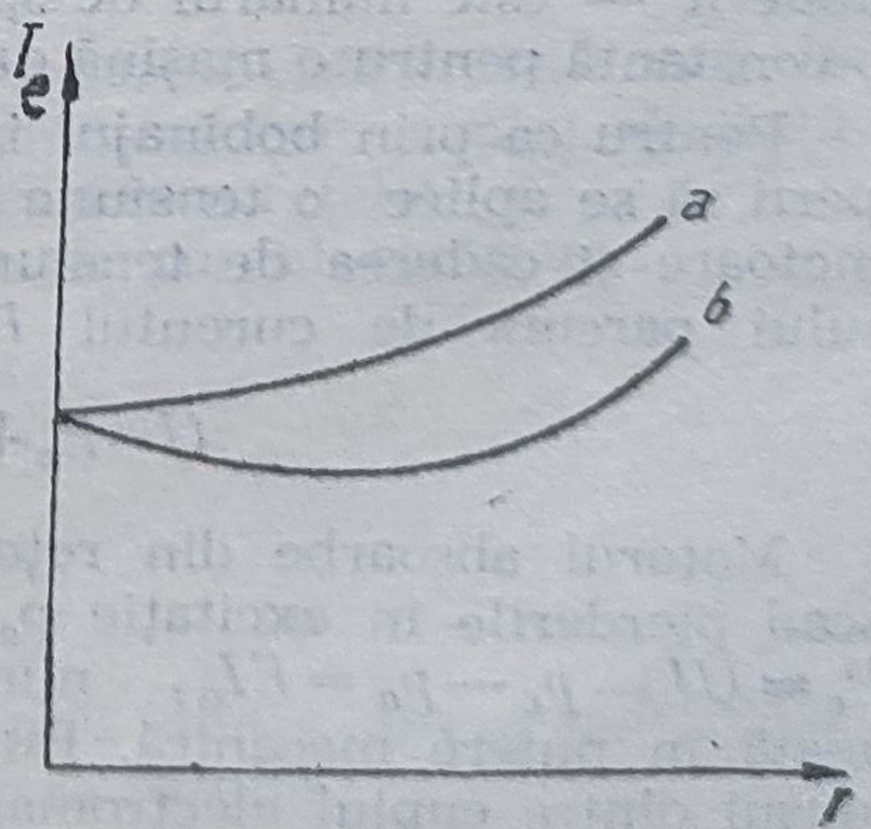


Fig. 2-42. Caracteristicile reglajului pentru generatoare de curent continuu :

6. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE AL MOTORULUI DE CURENT CONTINUU

Se va considera o mașină de curent continuu bipolară, la care înfășurările indusului și inductorului sînt parcurse de curenți în același sens ca în figura 2—43, *a*.

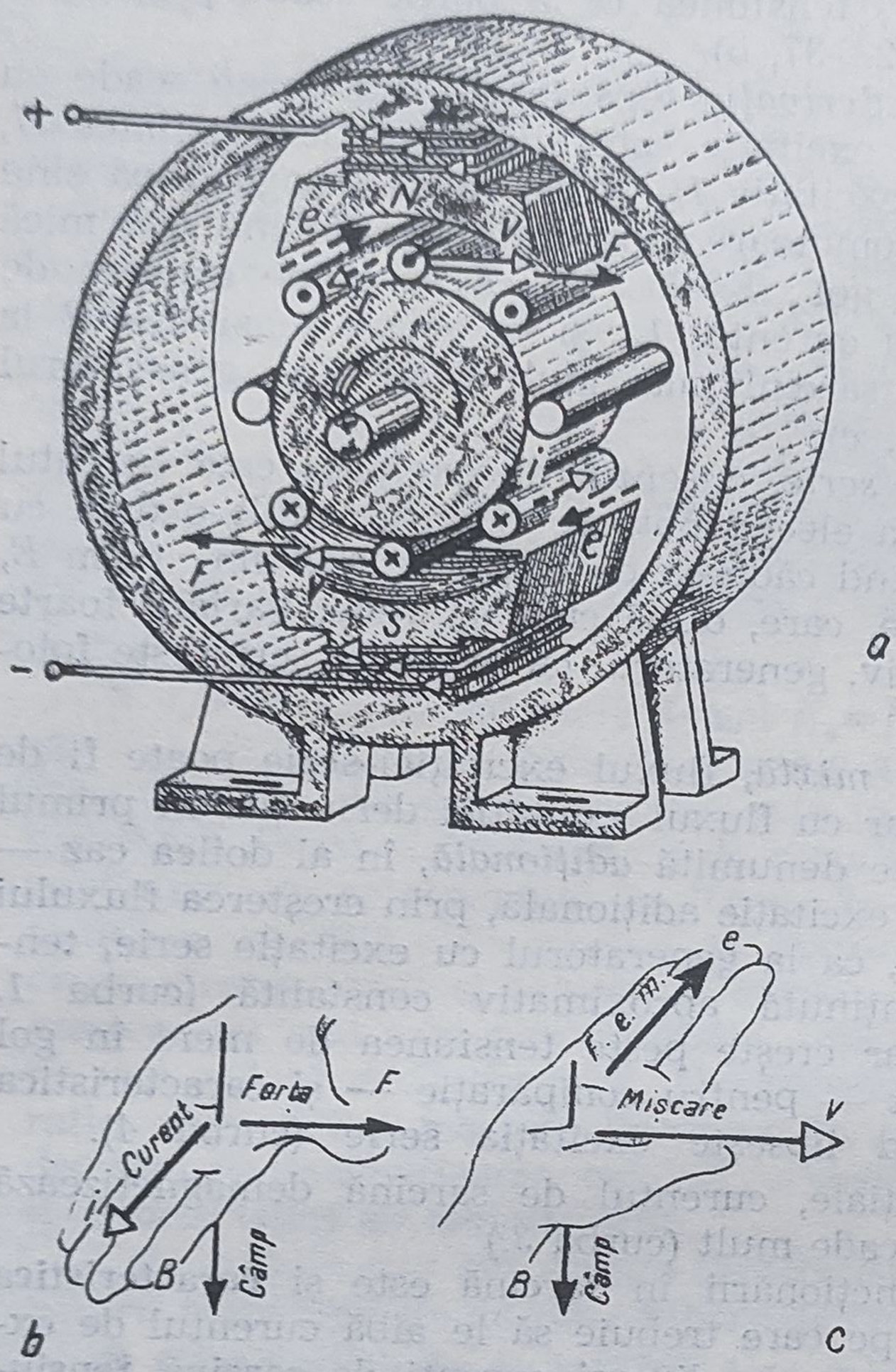


Fig. 2-43. Transformarea energiei într-un motor electric.

Conductoarele rotorului parcurse de curenții i, situate în cîmpul magnetic al inductorului caracterizat de inducția B, vor fi supuse unor forțe electromagnetice F, egale două cîte două și de sens opus. Sensul forțelor F se determină cu regula mîinii stîngi, așa cum se arată în figura 2—43, *b*. Aceste forțe produc cuplul eletromagnetic rezultant M_0 care rotește rotorul în sensul indicat de săgeată. Mașina transformă energia electrică, primită la bornele rotorului, în energie mecanică.

Cînd motorul este în funcțiune, deoarece spirele indusului se rotesc în cîmpul magnetic inductor, în ele se induce o tensiune electromotoare E_c al cărei sens se determină cu regula mîinii drepte (fig. 2—43, *c*). Această t.e.m. este de sens contrar curentului și se numește *tensiune contraelectromotoare*. Valoarea ei este dată de relația :

$$E_c = \frac{4pnw}{60}\Phi_0 = k_e n \Phi_0 ,$$

unde w — este numărul de spire, n — turația, Φ_0 — fluxul, iar k_e *este* o constantă pentru o mașină dată.

Pentru ca prin bobinajul indusului să circule curent, va trebui ca la perii să se aplice o tensiune U care să acopere tensiunea contraelectromotoare și căderea de tensiune din bobinajul de rezistență R_a al indusului parcurs de curentul I_a :

$$U = E_c + R_a I_a = k_e n \Phi_0 + R_a I_a .$$

Motorul absoarbe din rețea puterea $P_1 = UI$. Din această putere se scad pierderile în excitație p_e și pierderile în indus $p_a = R_a I_a^2$. Puterea $P_e = UI - p_e - p_a = EI_a$, numită *putere electromagnetică*, este transformată în putere mecanică. Puterea electromagnetică este egală, cu produsul dintre cuplul electromagnetic M_e și viteza unghiulară Ω pe care o imprimă acest cuplu, aceeași cu viteza unghiulară $\Omega = \frac{2\pi n}{60}$ a indusului ; $P_e = M_e \Omega$. Din această putere se scad pierderile mecanice p_m și pierderile

în fier p_{Fe}, așa încît la arbore rămîne puterea utilă $P = P_e - p_m - p_{Fe}$
Ea se poate scrie și sub forma :

$$P = M\Omega = M\frac{2\pi n}{60}$$

în care M reprezintă cuplul util sau cuplul de sarcină la arborele mașinii. Acest cuplu este mai mic decît cuplul electromagnetic M_e și numai dacă se neglijează pierderile mecanice și în fier, se poate admite :

$$M_e \simeq M.$$

Egalînd expresiile $P_e = EI_a$ și $P_e = M_e\,\Omega$ ale puterii electromagnetice, se găsește că cuplul electromagnetic al motorului are expresia :

$$M_e = \frac{2p}{\pi}\omega\Phi_o I_a = k_m\Phi_o I_a.$$

Rezultă că *sensul de rotație al motorului se schimbă dacă se modifică sensul curentului* fie *în înfășurarea de excitație*, fie *în înfășurarea indusului*. Dacă se schimbă simultan sensul curentului atît în înfășurarea de excitație cît și în înfășurarea rotorului, sensul de rotație al motorului nu se schimbă.

7. TIPURILE DE MOTOARE DE CURENT CONTINUU ȘI CARACTERISTICILE LOR

Motoarele de curent continuu se deosebesc, ca și generatoarele, după felul excitației lor. Motoarele cu excitație independentă au caracteristici identice cu ale motoarelor derivație și de aceea ele nu se studiază separat. Schemele motoarelor sînt identice cu cele ale generatoarelor, avînd în plus numai reostatul de pornire. Pentru explicitare, în figurile 2-44, 2-45 și 2—46 sînt redate tipurile de motoare de curent continuu și schemele lor de funcționare.

Dintre caracteristicile motoarelor de curent continuu se vor examina două, și anume *caracteristica vitezei* și *caracteristica mecanică*, ele fiind cele mai importante.

● **Caracteristica vitezei** exprimă legătura care există între viteza de rotație a motorului și curentul absorbit de mașină (sau cuplu). Această caracteristică se ridică menținînd constantă tensiunea rețelei.

Din ecuația de funcționare a motoarelor de curent continuu :

$$U = k_e n\Phi_0 + R_a I;$$

rezultă relația :

$$n = \frac{U - R_a I}{k_e\Phi_0}.$$

● **Caracteristica mecanică** exprimă legătura dintre viteza motorului și cuplul motorului. Din ecuația de funcționare rezultă :

$$n = \frac{U}{k_e\Phi_0} - \frac{R_a}{k_e k_m\Phi_0} M.$$

Această caracteristică reprezintă de fapt, la altă scară, caracteristica vitezei.

La motorul cu excitație separată și derivație, curentul de excitație și fluxul Φ va fi constant, deoarece tensiunea U a rețelei e constantă.

Deci numitorul din expresia turației este constant. Numărătorul scade liniar, o dată cu creșterea curentului. Așa se explică forma liniară a caracteristicii turației la aceste motoare (fig. 2-44,*c*).

La motoarele cu excitație serie, curentul de excitație este chiar curentul absorbit de motor. Înseamnă că variind curentul de sarcină variază chiar curentul de excitație, deci variază fluxul mașinii. Numitorul expresiei vitezei crește o dată cu mărirea curentului absorbit de motor. Pe carac-

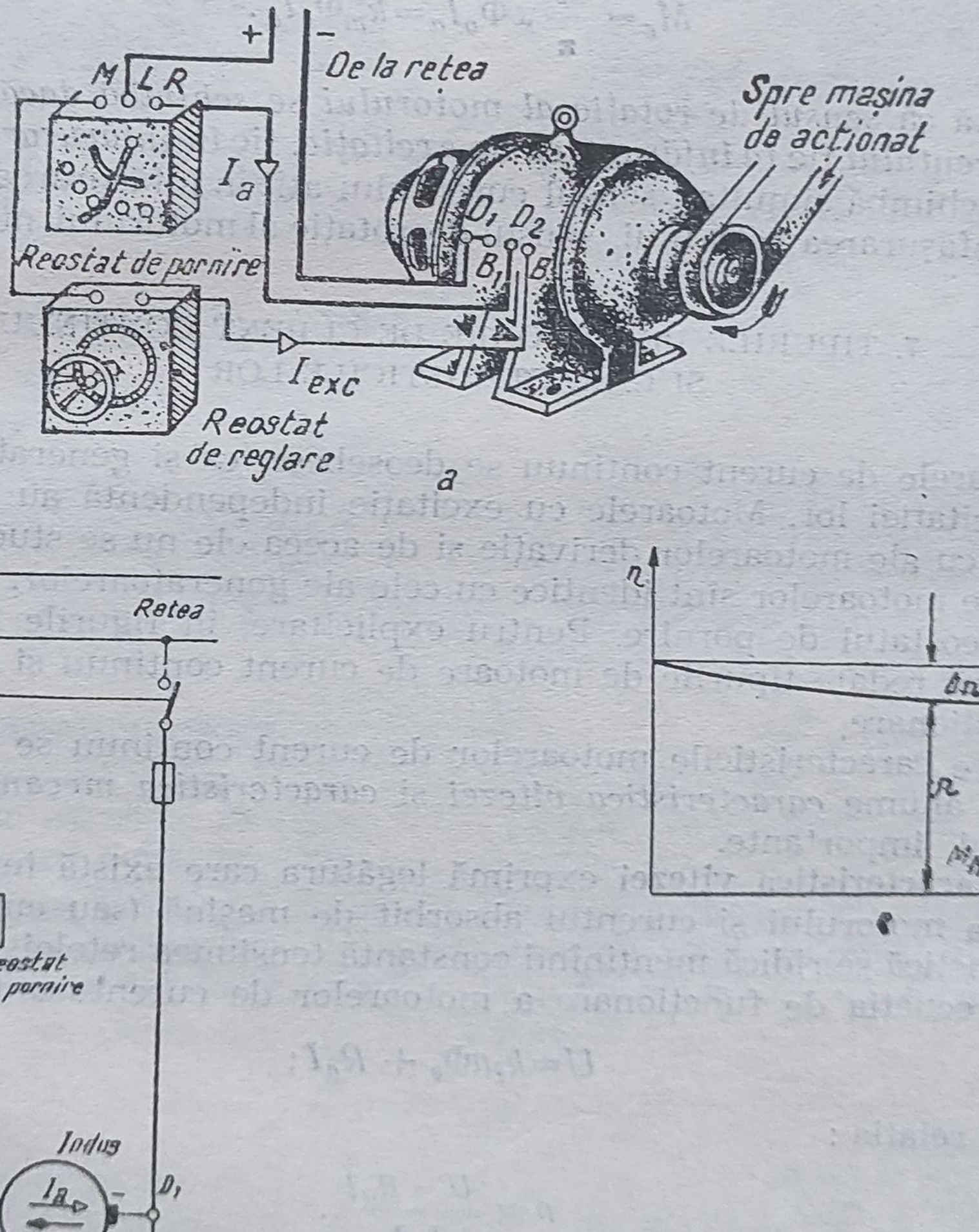
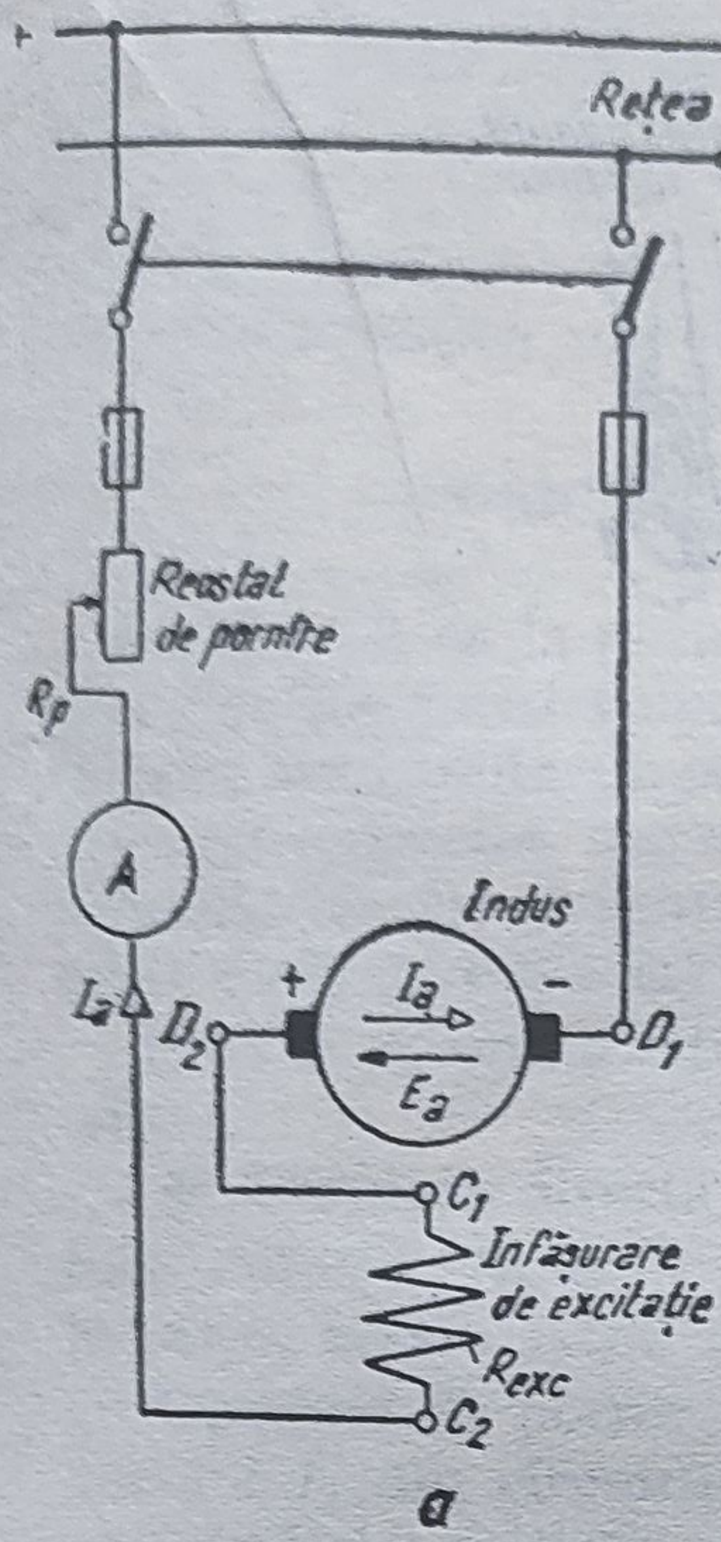


Fig. 2-44. Motor cu excitație derivație:
a — schema funcțională; *b* — schema electrică; *c* — caracteristica mecanică.



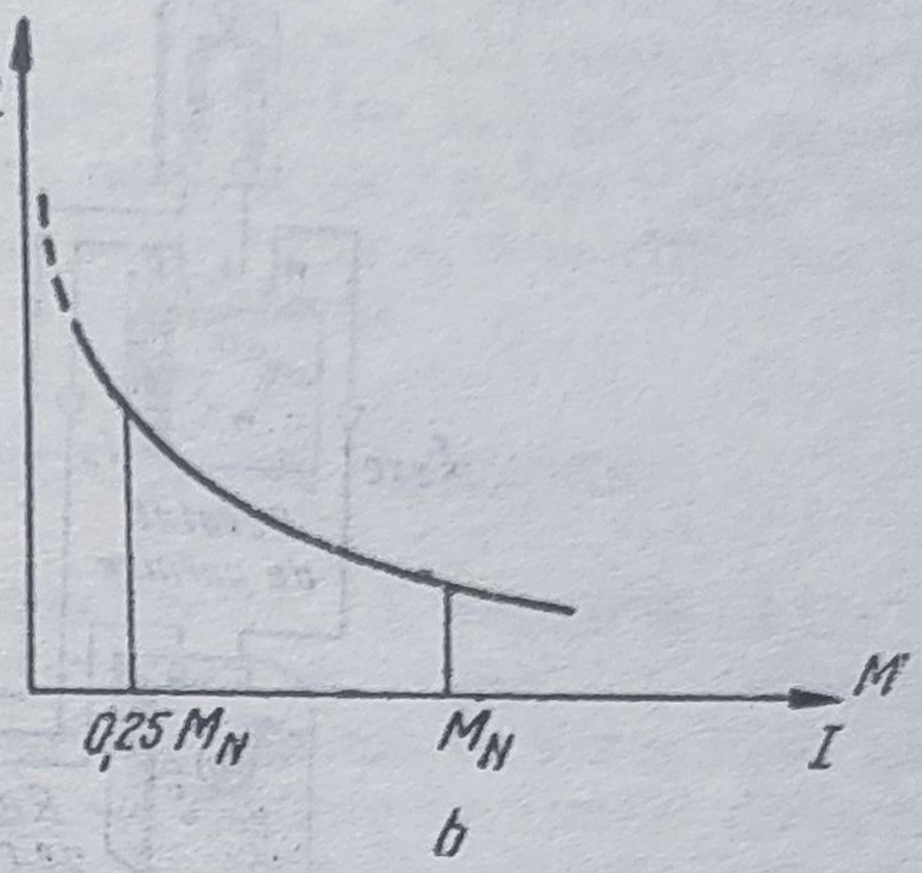


Fig. 2-45. Motor cu excitație serie : *a — schema electrică ; b — caracteristica mecanică.*

teristică se constată că pînă la o anumită valoare scăderea turației este puternică, iar apoi ea se diminuează (fig. 2-45, *b*). Aceasta se datorează saturației magnetice a mașinii, deoarece de la un moment dat creșterea fluxului nu mai este proporțională cu a curentului de excitație.

Viteza de mers în gol n_0 (punctul $M = 0$) este infinită ; $n_0 = \infty$. Din acest motiv, motorul-serie nu poate funcționa în gol și nici în sarcină redusă (cu sarcină sub aproximativ 0,25 din cuplul nominal M_N), deoarece rotorul ar fi supus unor eforturi centrifuge foarte mari, care l-ar distruge.

Motorul cu excitație mixtă este o combinație dintre motorul derivație și cel serie ; caracteristica lui de viteză are deci o formă intermediară între caracteristica motorului derivație și a celui serie.

Pe figura 2-46, *c* s-a trasat curba *1*, reprezentînd caracteristica mecanică a unui motor derivație, și curba *2*, reprezentînd caracteristica mecanică a unui motor-serie, ambele motoare avînd o aceeași viteză nominală la cuplul nominal M_n.

În cazul motorului cu excitație mixtă diferențială, excitația serie dezexcită mașina și turația motorului crește față de cazul cînd excitația serie ar lipsi ; în consecință, la motorul cu excitație mixtă diferențială, a cărui caracteristică mecanică este reprezentată prin curba *3*, scăderea de turație de la mersul în gol la mersul în sarcină este mai mică decît la motorul cu excitație derivație, sau este chiar nulă (în acest ultim caz, motorul are turația practic constantă.)

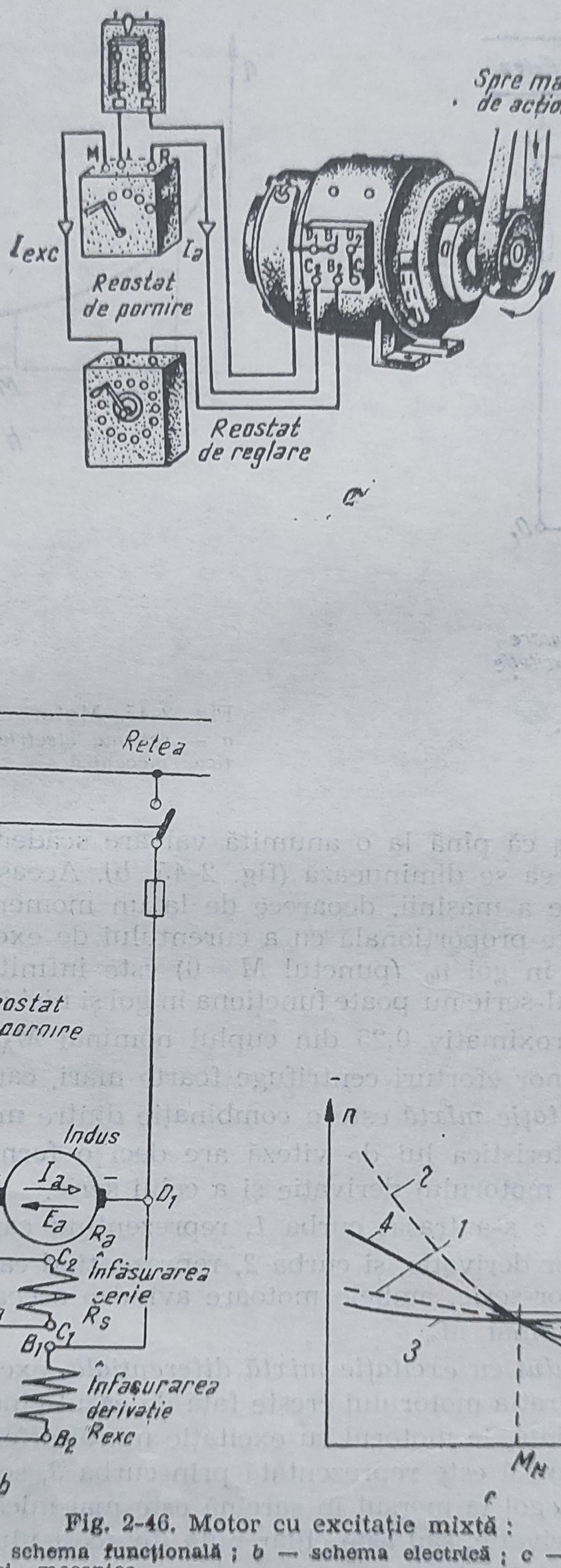


Fig. 2-46. Motor cu excitație mixtă :

a — schema funcțională ; *b* — schema electrică ; *c* — caracteristici mecanice.

În cazul motorului cu excitaţie mixtă adiţională, excitaţia serie magnetizează suplimentar maşina, ceea ce reduce turaţia, ca la un motor-serie. Totuşi, la mersul în gol, din cauza excitaţiei derivaţie, turaţia de mers în gol nu mai este infinit de mare, aşa încît acest motor poate merge şi în gol. Caracteristica mecanică, reprezentată prin curba *4*, este cuprinsă între caracteristica motorului-derivaţie şi a celui serie.

8. PORNIREA MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

Ideal ar fi ca la pornire, curentul pe care motorul îl absoarbe să fie cît mai mic (în jurul valorii nominale a curentului) iar cuplul cît mai mare (atunci cînd motorul porneşte în plină sarcină). Prima condiţie fiind mai greu de respectat, s-a convenit a se admite la pornire un curent de aproximativ 1,7 ori curentul nominal (sînt cazuri cînd se admite chiar mai mult decît de două ori acest curent.)

Se vor examina cîteva dintre modurile de pornire a motoarelor electrice.

● **Pornirea directă** (fig. 2—47), este cea mai simplă şi necesită aparatură minimă. Această pornire constă din conectarea directă a motorului la reţea, acesta avînd tensiunea sa nominală.

Operaţia de pornire se reduce de fapt la simpla închidere a întreruptorului I_2 din circuitul indusului, după ce în prealabil fusese alimentat circuitul de excitaţie derivaţie (în cazul motoarelor derivaţie şi a celor cu excitaţie mixtă).

Metoda are însă deficienţe foarte importante, determinate de valoarea mare a curentului de pornire. Din această cauză ea nu se recomandă, folosindu-se foarte rar.

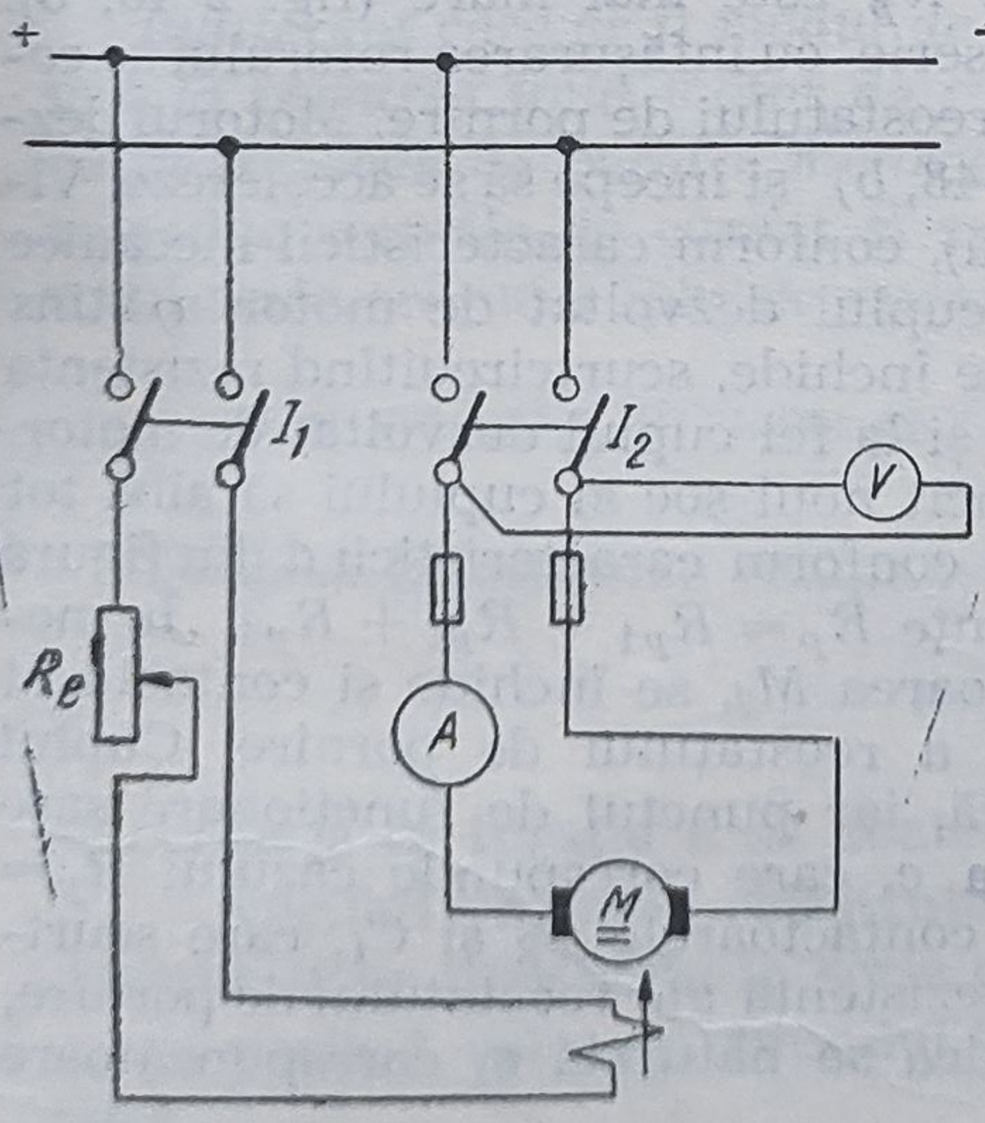
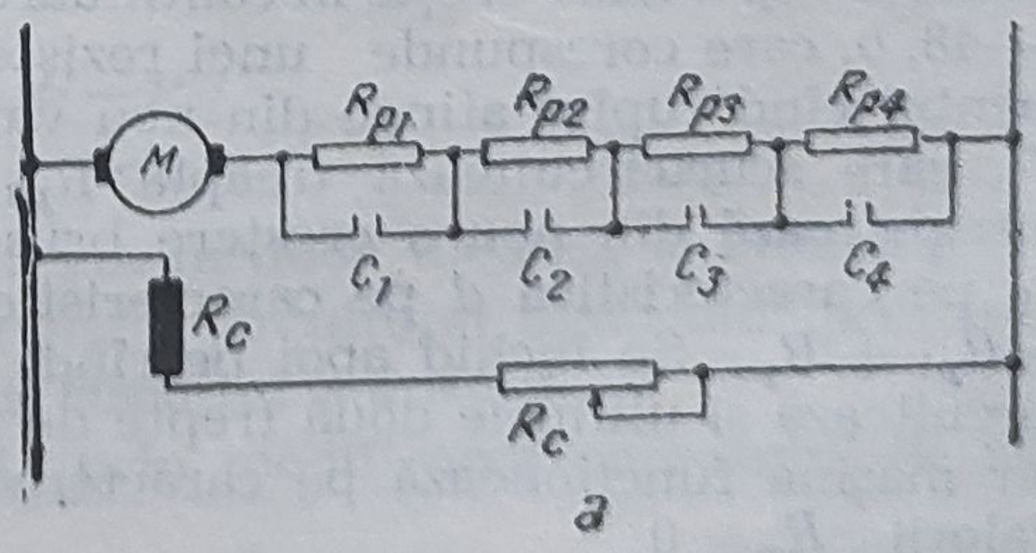


Fig. 2-47. Pornirea motoarelor de curent continuu prin conectare directă la reţea.

● **Pornirea cu ajutorul unui reostat de pornire** montat în circuitul indusului are avantajul că reduce şocul de curent.

În figura 2-48, *a* este reprezentată schema de pornire a unui motor derivaţie cu patru trepte de pornire, care utilizează pentru scurtcircui-



a

Fig. 2-48, *a*. Pornirea motoarelor de curent continuu cu reostat de pornire
Schema de principiu

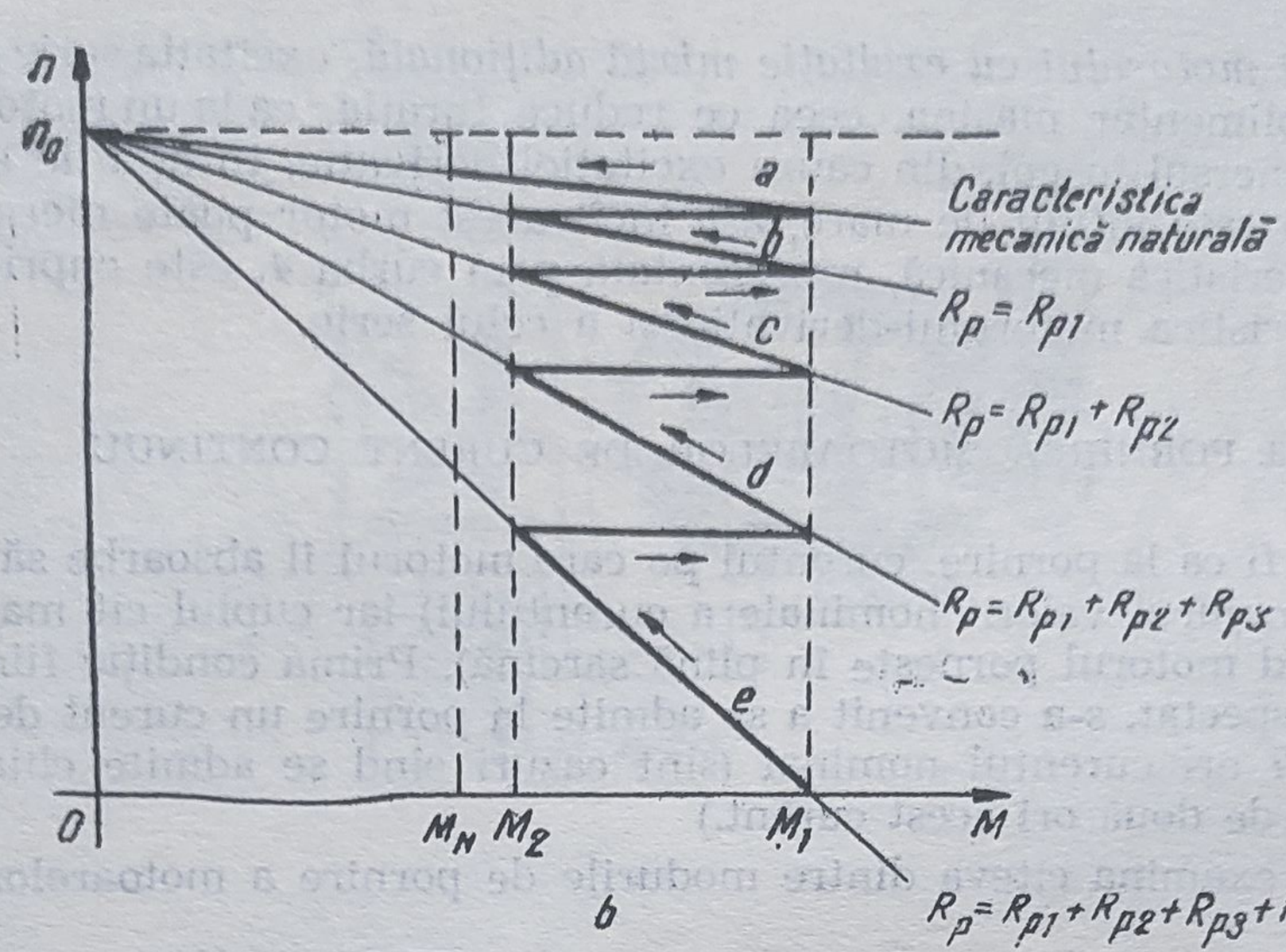


Fig. 2-48, b. Pornirea motoarelor de curent continuu cu reostat de pornire. Caracteristici mecanice corespunzătoare pentru patru trepte de pornire.

tarea treptelor de rezistență contactoarele C. Pentru a înțelege modul de acționare a reostatului de pornire în trepte, trebuie remarcat faptul că, atunci cînd se conectează în serie cu înfășurarea rotorului o rezistență de pornire R_p, caracteristica mecanică se schimbă, conform relației:

$$n = \frac{U_A - (R_A + R_p)I_A}{k_e\Phi_0} = \frac{U_A}{k_e\Phi_0} - (R_A + R_p)\frac{M}{k_e k_m \Phi_0^2},$$

devenind cu atît mai căzătoare cu cît R_p este mai mare (fig. 2-48, *b*).

În primul moment al pornirii, în serie cu înfășurarea rotorului se conectează toate cele patru rezistențe ale reostatului de pornire. Motorul dezvoltă în acest moment cuplul M_1 (fig. 2-48, *b*) și începe să se accelereze. Viteza tinde să crească (și cuplul să scadă), conform caracteristicii mecanice artificiale *e* din figura 2-48, *b*. Cînd cuplul dezvoltat de motor a atins o anumită valoare M_2, contactorul C_p se închide, scurtcircuitînd rezistența R_{p4}. Curentul înregistrează un nou șoc și la fel cuplul dezvoltat de motor. Se pot dimensiona rezistențele astfel încît noul șoc al cuplului să aibă tot valoarea M_1. Viteza crește în continuare conform caracteristicii *d* din figura 2—48, *b*, care corespunde unei rezistențe $R_p = R_{p1} + R_{p2} + R_{p3}$. În momentul cînd cuplul atinge din nou valoarea M_2, se închide și contactorul C_3, care scurtcircuitează treapta R_{p3} a reostatului de pornire. Cuplul înregistrează din nou o creștere bruscă, iar punctul de funcționare sare de pe caracteristica *d* pe caracteristica *c*, care corespunde cazului $R_p = R_{p1} + R_{p2}$. Se închid apoi pe rînd contactoarele C_2 și C_1, care scurtcircuitează și ultimele două trepte de rezistență ale reostatului de pornire, iar mașina funcționează pe caracteristica sa naturală *a*, corespunzătoare valorii $R_p = 0$.

Valorile minimă și maximă M_1 și M_2 ale cuplului de pornire se aleg în așa fel încît pronirea să dureze cît mai puțin, iar șocurile de cuplu, respectiv de curent, să nu fie periculoase.

Pentru obținerea unui cuplu de pornire suficient de mare (în vederea asigurării pornirii în sarcină și a unui timp de accelerare relativ scurt), trebuie luate măsuri în plus, în sensul ca *fluxul de excitație să aibă valoarea maximă în timpul pornirii*. Acest lucru se realizează de la sine la motorul cu excitație serie.

La motorul cu excitație derivație, se impune ca reostatul de cîmp să fie adus pe treapta de rezistență nulă, pentru a se obține un curent de excitație maxim. De asemenea, trebuie asigurată conectarea reostatului de pornire în serie cu înfășurarea rotorului, de așa manieră încît tensiunea aplicată circuitului de excitație să fie tensiunea rețelei de alimentare, și nu tensiunea de după reostatul de pornire. Schema corectă de conectare a reostatului de pornire este arătată în figurile 2-44, *a* și *b*.

Trebuie avut în vedere totdeauna faptul că reostatele de pornire nu sînt calculate să reziste conectate timp îndelungat în circuitul motorului. Ele servesc doar pentru pornire, iar timpul de pornire se măsoară în secunde. În consecință, nu este permis a se uita reostatul de pornire sau o parte din el conectată în serie cu motorul, deoarece s-ar arde.

La deconectarea motorului cu excitație derivație de la rețeaua electrică de alimentare, trebuie avută grijă să nu se întrerupă circuitul de excitație, deoarece pot apărea arcuri electrice importante și supratensiuni periculoase.

● **Pornirea cu tensiune redusă** se utilizează în special în instalații de mare putere, unde reostatul de pornire devine voluminos și utilizarea lui ar implica pierderi însemnate de energie. Această metodă are dezavantajul că necesită instalații suplimentare care să permită reducerea tensiunii în timpul pornirii.

Indiferent care ar fi modul de pornire, trebuie reținut faptul că totdeauna *la pornirea unui motor de curent continuu se vor lua toate măsurile ca în perioada de pornire motorul să fie excitat la maxim*. În felul acesta se reduc șocurile de curent și se asigură un cuplu bun de pornire. Motorul serie are un cuplu de pornire mai mare decît celelalte motoare.

9. REGLAREA VITEZEI MOTOARELOR DE CURENT CONTINUU

Dacă se examinează relația :

$$n = \frac{U - R_a I}{k_e \Phi_0},$$

se constată că turația n se poate regla în două moduri, și anume :

— variind valoarea rezistenței R_a a circuitului motorului prin introducerea unor rezistențe în serie cu circuitul indusului ;

— variind valoarea fluxului Φ_0 prin modificarea curentului de excitație.

Viteza motoarelor de curent continuu mai poate fi variată și prin schimbarea valorii tensiunii U, dar acest lucru este dificil, necesitînd în fond modificarea tensiunii rețelei.

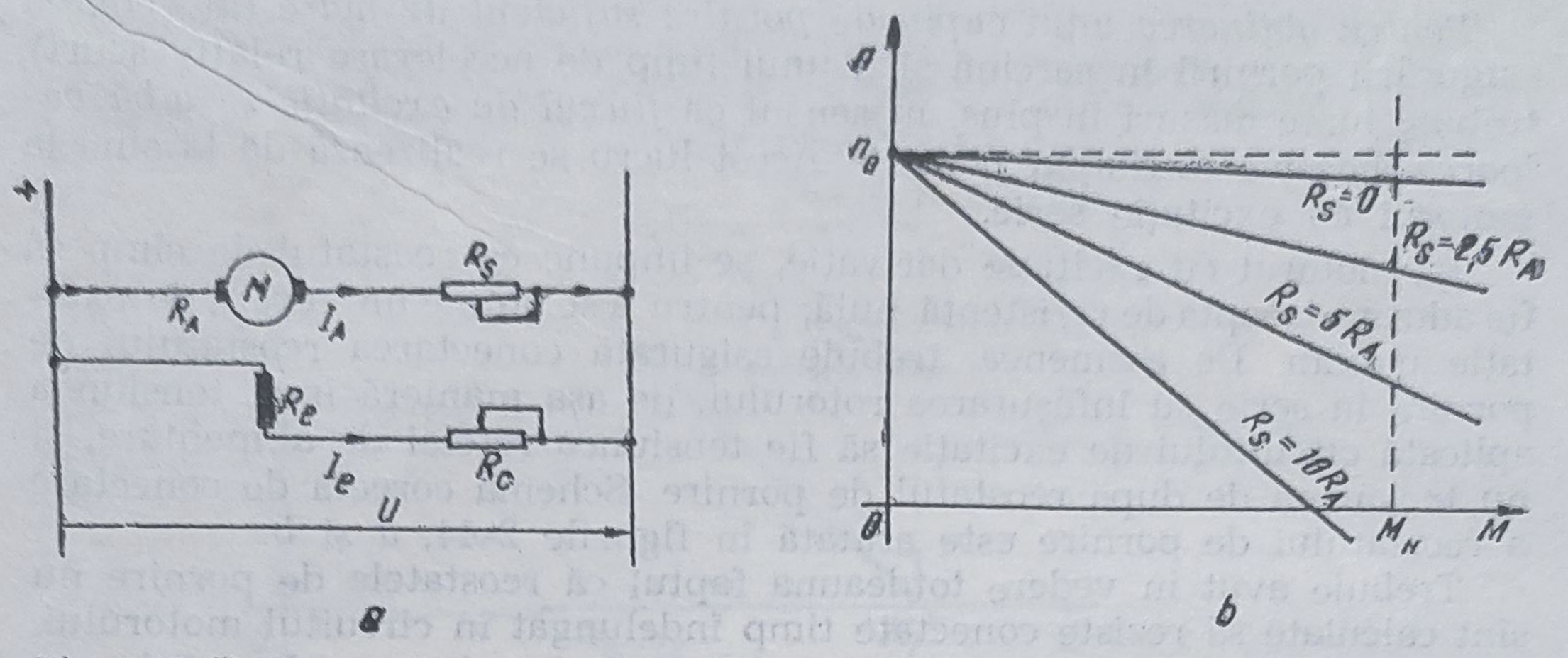


Fig. 2-49. Reglarea vitezei cu ajutorul unor rezistenţe conectate în serie cu indusul : *a — schema de principiu ; b — caracteristicile mecanice*

● **Reglarea vitezei cu ajutorul unui reostat înseriat în circuitul indusului.** *La motorul derivaţie*, acest reglaj se execută folosind montajul din figura 2-49, *a*. Adăugînd în circuit rezistenţa R_s şi dîndu-i valori din ce în ce mai mari, curbele care ilustrează variaţia turaţiei devin din ce în ce mai scăzătoare (fig. 2-49, *b*). Aceste caracteristici se prezintă sub forma unor drepte care pornesc din acelaşi punct. Într-adevăr, pentru $I=0$, deci $M=0$, independent de valoarea rezistenţei R_s, turaţia are valoarea :

$$n=\frac{U}{k_e\Phi_0}.$$

Se poate trage concluzia că introducînd în circuitul indusului diferite rezistenţe, se poate obţine orice turaţie mai mică decît turaţia care corespunde situaţiei $R_s=0$.

La motorul cu excitaţie serie, pentru reglarea vitezei se foloseşte un montaj asemănător.

Această metodă are dezavantajul că o cantitate importantă din puterea absorbită de la reţea se consumă în rezistenţa R, sub formă de pierderi Joule-Lenz.

● **Reglarea vitezei prin variaţia excitaţiei.** Pentru *motorul cu excitaţie derivaţie*, montajul este dat în figura 2-50, *a*, iar caracteristicile sînt cele din figura 2-50, *b*. Ele apar sub forma unor drepte paralele.

Prin această metodă se pot obţine la motoarele cu excitaţie derivaţie turaţii mai mari şi mai mici decît cele corespunzînd situaţiei nominale. Nu trebuie însă mers cu o micşorare prea mare a curentului de excitaţie, întrucît există pericolul ca maşina să ajungă la turaţii foarte mari, care pot deveni periculoase.

La motorul cu excitaţie serie reglarea turaţiei prin variaţia curentului de excitaţie se realizează montînd în paralel cu înfăşurarea de excitaţie un reostat (fig. 2-50, *c*). În felul acesta, o parte din curent va trece prin reostat şi astfel curentul prin circuitul de excitaţie se va micşora. Din această cauză fluxul maşinii se va reduce şi deci motorului îi va creşte turaţia.

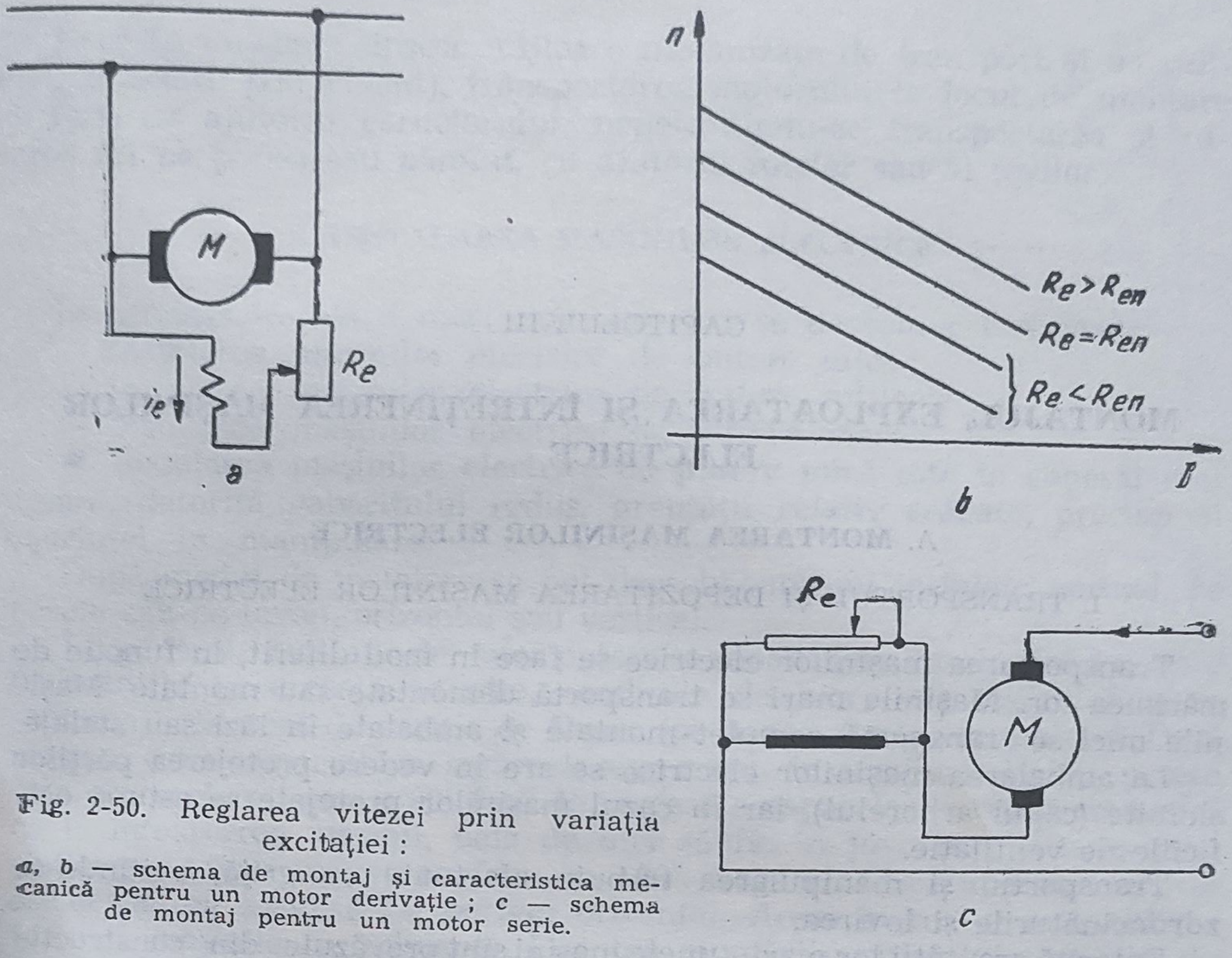


Fig. 2-50. Reglarea vitezei prin variaţia excitaţiei :

a, b — schema de montaj şi caracteristica mecanică pentru un motor derivaţie ; *c* — schema de montaj pentru un motor serie.

Rezultă că la motorul cu excitaţie serie prin această metodă nu se poate decît mări viteza de rotaţie.

Din cauza pericolului unei viteze prea mari, la maşina serie nu se poate diminua prea mult curentul în circuitul de excitaţie. Nu se recomandă a se merge cu un curent în înfăşurarea de excitaţie mai mic decît jumătate din curentul de sarcină.

Această metodă de variaţie a turaţiei este mai avantajoasă din punct de vedere economic. Pierderile ce apar în reostatele din circuitul de excitaţie sînt mult mai mici decît cele ce au loc în reostatele montate în circuitul principal al maşinilor.

În schimb, în cazul micşorării curentului de excitaţie şi deci a fluxului, scade cuplul pe care-l poate dezvolta maşina.

CAPITOLUL III

MONTAJUL, EXPLOATAREA ŞI ÎNTREŢINEREA MAŞINILOR ELECTRICE

A. MONTAREA MAŞINILOR ELECTRICE

1. TRANSPORTUL ŞI DEPOZITAREA MAŞINILOR ELECTRICE

Transportarea maşinilor electrice se face în mod diferit, în funcţie de mărimea lor. Maşinile mari se transportă demontate sau montate. Maşinile mici se transportă complet montate şi ambalate în lăzi sau stelaje.

La ambalarea maşinilor electrice se are în vedere protejarea părţilor şlefuite (capul arborelui), iar în cazul maşinilor protejate se astupă orificiile de ventilaţie.

Transportul şi manipularea trebuie efectuate cu grijă, evitîndu-se zdruncinăturile şi lovirea.

Datorită greutăţii lor mari, unele maşini sînt prevăzute din construcţie cu posibilitatea demontării statorului în două jumătăţi (în special la generatoarele sincrone de turaţie redusă). În această situaţie, se transportă separat statorul, rotorul, lagărele, anexele (excitatoare, portperii etc.).

La alte maşini mari, transportarea se face în starea montată, eventual fixate chiar pe o placă de fundaţie. În cazul maşinilor foarte mari se folosesc pentru transport platforme de vagon sau remorci auto speciale.

Dacă motorul nu se montează imediat pe fundaţie, el nu se scoate din ambalaj, ci se păstrează în locuri special amenajate. Păstrarea trebuie astfel asigurată, încît motorul să nu fie supus îngheţului sau umezelii.

Încăperile unde se păstrează motoarele nu trebuie să aibă vapori oxidanţi sau alţi vapori şi gaze, care să influenţeze defavorabil asupra conductoarelor sau asupra izolaţiei altor elemente.

Dacă motorul se introduce pe timp de iarnă în încăperea unde este destinat să funcţioneze, nu se desface ambalajul imediat, pentru ca motorul să se încălzească treptat şi să capete temperatura mediului ambiant. Altfel, la despachetare se poate produce condensarea vaporilor din încăpere pe elementele motorului şi deci umezirea sa.

Dacă fabrica furnizoare trimite motorul în stare complet montată, după despachetare acesta se instalează pe fundaţie în starea în care a fost trimis. La despachetarea motorului trebuie evitată atingerea părţilor şlefuite ale motorului (capătul axului), iar în cazul că acest lucru trebuie neapărat făcut, se protejează aceste părţi, acoperindu-le cu pîslă şi apoi cu carton.

Dacă în începere lipsesc mijloace mecanizate de transport și de ridicare (macara, pod rulant), transportarea motorului la locul de montare se face cu ajutorul căruciorului, nepermițîndu-se transportarea și rularea lui pe podea sau pămînt, cu ajutorul rolelor sau al țevilor.

2. INSTALAREA MAȘINILOR ELECTRICE

În privința instalării mașinilor electrice, se deosebesc trei cazuri :
— instalarea mașinilor electrice de putere mică ;
— instalarea mașinilor electrice de putere mijlocie ;
— instalarea mașinilor electrice de putere mare.

● **Instalarea mașinilor electrice de putere mică** este în general mai ușoară, datorită gabaritului redus, greutății relativ scăzute, precum și ușurinței în manipulare.

După modul de instalare se pot deosebi : mașini instalate normal, pe perete sau pe tavan, orizontal sau vertical.

În general, mașinile de mică putere se construiesc cu lagăre de rulare (rulmenți) ; în această situație, condițiile de lucru ale lagărelor nu se schimbă indiferent de poziția de fixare (pe podea, tavan sau perete). Dacă mașina este construită cu lagăre de alunecare, în cazul instalării pe perete este necesară rotirea cu 90° față de carcasă a capacelor portpaliere, astfel ca la întoarcerea mașinii, baia de ulei să fie în jos ; la montarea mașinilor pe tavan rotirea se face cu 180°. Lagărele de alunecare cer, de asemenea, ca axul să fie perfect orizontal. Acest lucru nu este obligatoriu la mașinile cu rulmenți. Înaintea montării cuplajului sau roții de curea, vopseaua de pe ax trebuie îndepărtată prin ștergere cu o cîrpă muiată în petrol sau acetonă și nu prin răzuire cu scule așchietoare.

Montarea roții de curea sau a cuplajului se face cu ajutorul unui dispozitiv special cu șurub, cum se vede în figura 3—1.

Acest dispozitiv este alcătuit din două traverse, *1* și *2*, confecționate din oțel *U* și unite prin două tije, *3* și *4*. Prin traversa *1* se trece șurubul *5*, care se sprijină pe butucul roții de transmisie, iar traversa *2* se sprijină pe arborele motorului, la capătul opus roții de curea ; la înșurubarea șurubului, roata de curea se presează pe arborele motorului.

Este interzisă fixarea roții prin lovituri de ciocan, deoarece loviturile pe capătul arborelui se transmit la lagărul motorului și-l pot deteriora (la lagărele cu rulmenți, astfel de lovituri formează adînciturî pe canalele de rulare, iar la lagărele de alunecare se sparge compoziția cuzineților sau se pot reteza capetele șuruburilor).

Fixarea motorului pe postament, fundație, glisiere sau mașina-unealtă se face cu buloane de diametru corespunzător găurilor din tălpile carcasei. Distanța între găurile de fixare se poate lua din catalogul motorului respectiv sau se trasează după însăși motorul ce urmează a fi montat.

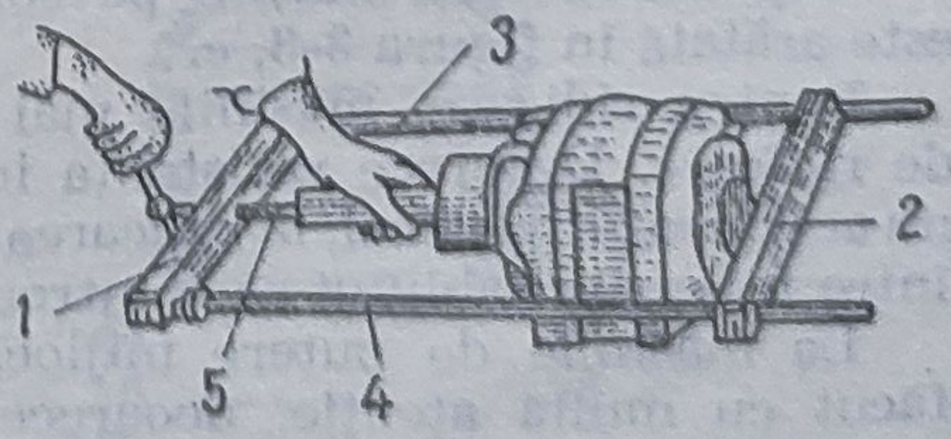


Fig. 3-1. Dispozitiv cu șurub pentru demontarea roții de curea.

În cazul cînd motorul electric lucrează prin transmisie cu curea, este necesar să se controleze poziția roților motorului și a transmisiei, pentru a evita sărirea curelei în timpul mersului.

Dacă lățimea roților de curea este aceeași, *verificarea paralelismului arborilor* poate fi făcută după suprafețele laterale ale roților de curea, care — în cazul paralelismului și al presării corecte a roților de curea pe arbori — trebuie să se afle în același plan. Această verificare poate fi făcută în modul următor : capătul unei sfori se fixează în așa fel la roata de curea a transmisiei (fig. 3—2) încît ea să atingă marginea coroanei roții, transmisiei și marginea roții motorului. Sfoara se aplică în așa fel la roată, încît să atingă fiecare dintre cele două roți de curea, în două puncte diametral opuse.

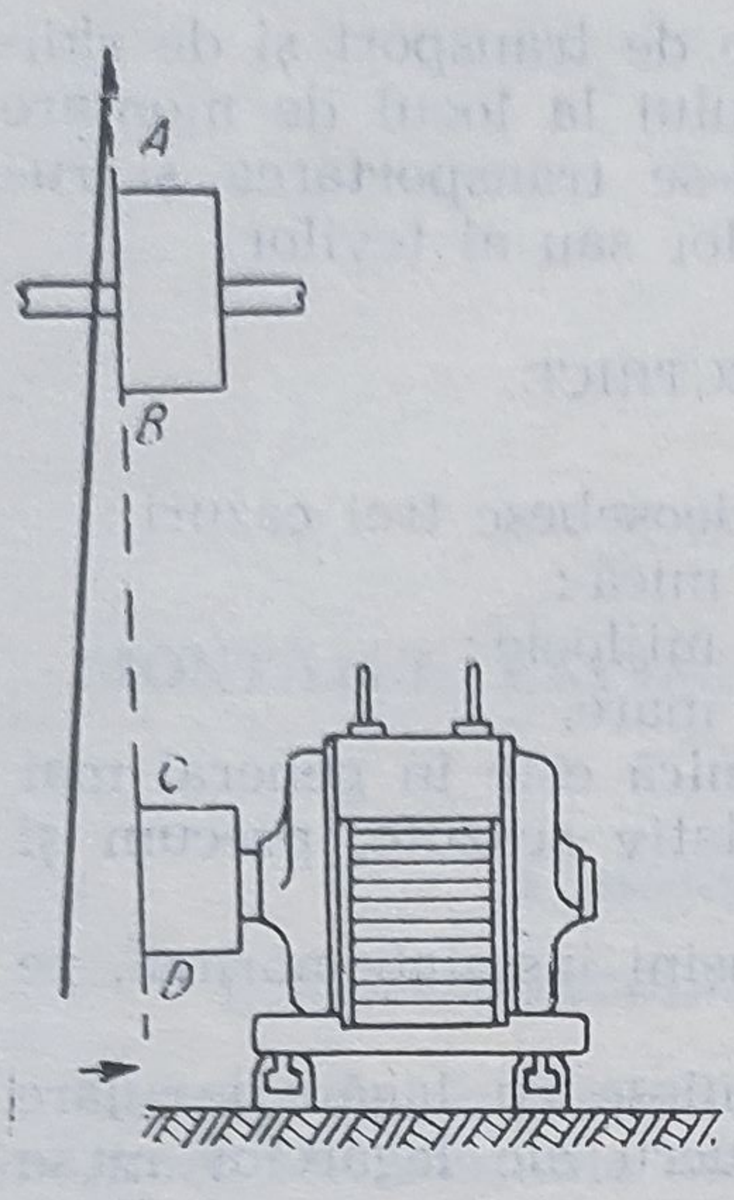


Fig. 3-2. Verificarea poziției motorului electric în cazul transmisiei cu curea.

Dacă arborii sînt paraleli, sfoara întinsă trebuie să atingă în același timp în patru puncte A, B, *C*, *D*, așa cum se vede în figură. Dacă lățimile roților de curea sînt diferite, determinînd centrul fiecărei roți de transmisie prin măsurare, se trasează pe ambele roți, cu vîrful unei crete bine ascuție sau cu un ac de trasat — liniile medii ale lățimii roții. După aceea, sfoara se aplică pe aceste linii ale celor două roți de transmisie ; în cazul cînd arborii sînt paraleli, sfoara întinsă trebuie să coincidă cu liniile de pe roțile de curea.

● **Instalarea mașinilor electrice de putere mijlocie** se face asemănător cu cea a mașinilor de mică putere. Particularitatea montajului acestor mașini față de cele mici constă în folosirea instalațiilor de ridicare și manevrare, precum și într-un control mai riguros, avînd în vedere greutatea lor mare și puterea pe care o transmit.

Mașinile de putere mijlocie se instalează de obicei pe fundații sau pe glisiere, poziția de funcționare fiind orzontală. În figura 3-3 se arată diverse procedee de transport și manevrare.

Astfel, ridicarea unei mașini cu o macara diferențială este arătată în figura 3-3, *a*, iar coborîrea pe un plan înclinat cu ajutorul scripeților este prezentată în figura 3-3, *b*.

Deplasarea unei mașini pe sol cu ajutorul rolelor și al unei pîrghii este arătată în figura 3-3, *c*.

Pentru ridicare, mașinile mai grele au montate pe carcasă două inele de ridicare. Deoarece rezistența inelelor de ridicare se reduce dacă efortul nu acționează vertical, la ridicarea mașinii cu două inele este necesar ca între ramurile cablului să se introducă piese de distanțare ca în figura 3-4.

La mașinile de putere mijlocie, *controlul orizontalității* trebuie să fie făcut cu multă atenție, deoarece din cauza greutății mari a rotorului, în poziția înclinată se produc eforturi axiale mari asupra lagărului. Pentru aceasta, motorul se fixează pe două glisiere, care nu sînt încă fixate pe fundație și se așază aproximativ în poziția în care el trebuie să funcționeze

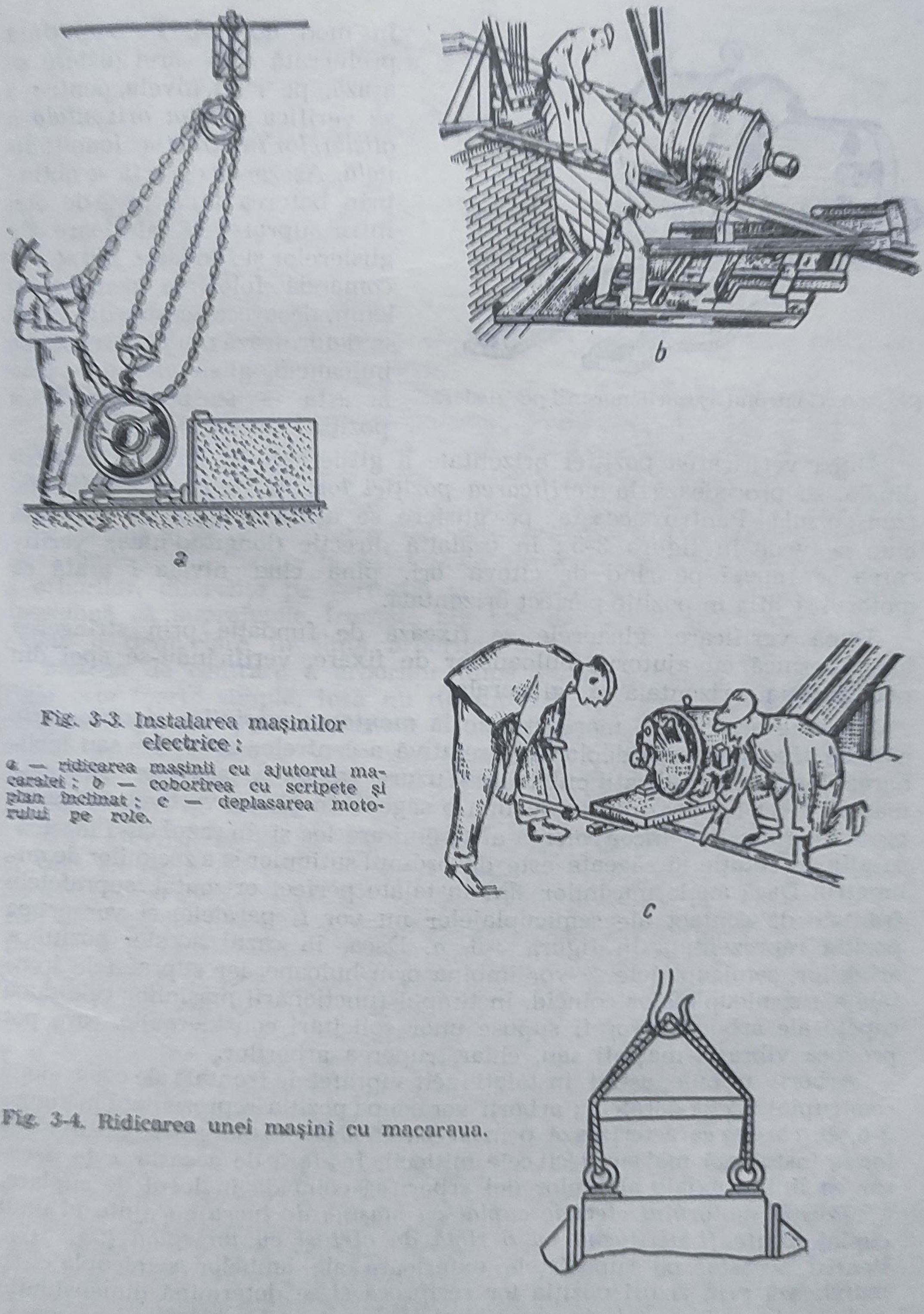


Fig. 3-3. Instalarea maşinilor electrice:

a — ridicarea maşinii cu ajutorul macaralei; b — coborîrea cu scripete şi plan înclinat; c — deplasarea motorului pe role.

Fig. 3-4. Ridicarea unei maşini cu macaraua.

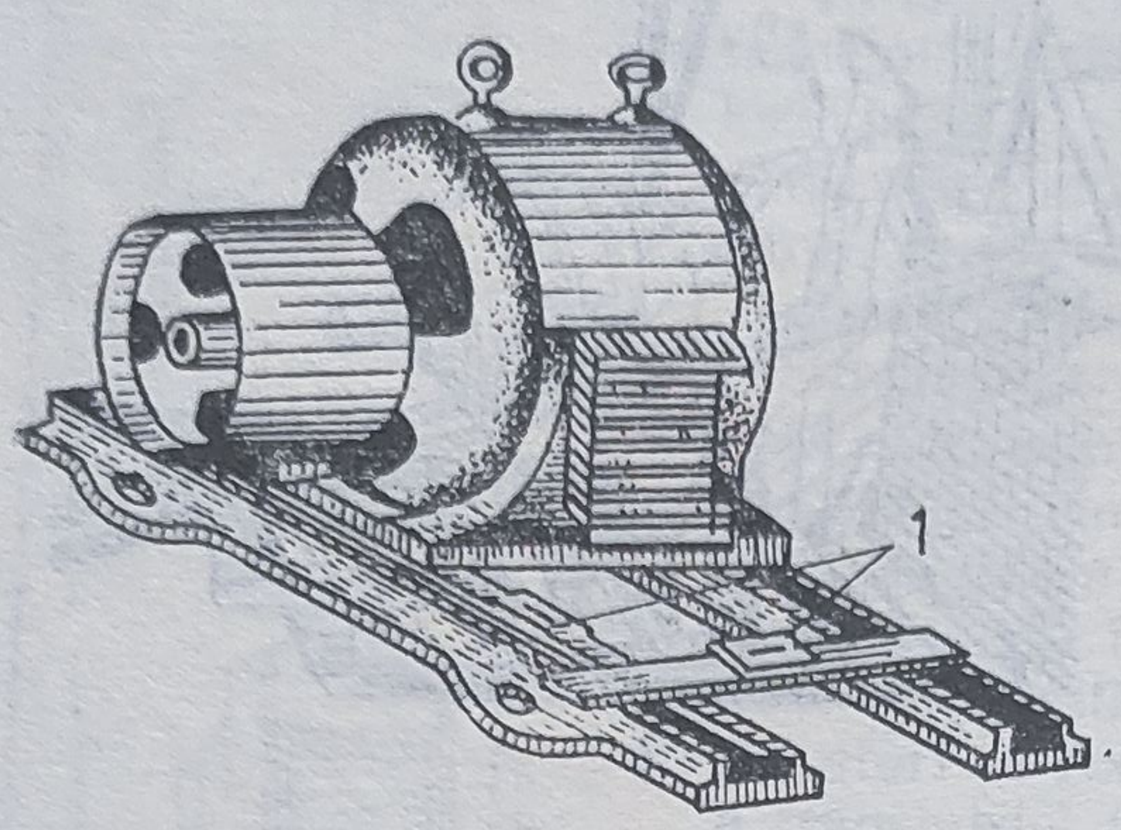


Fig. 3-5. Controlul aşezării maşinii pe glisieră

în mod normal. Pe suprafaţa prelucrată a fiecărei glisiere se aşază, pe rînd, nivela, pentru a se verifica *poziţia orizontală a glisierelor în direcţia longitudinală*. Aşezarea corectă se obţine prin baterea unor pene de oţel între suprafeţele inferioare ale glisierelor şi fundaţie. Nu se recomandă folosirea penelor de lemn, deoarece acestea din urmă se deformează mult la strîngerea buloanelor glisierelor şi — prin aceasta — se poate modifica poziţia corectă.

După verificarea poziţiei orizontale a glisierelor în direcţia longitudinală, se procedează la *verificarea poziţiei lor orizontale* şi *în direcţie transversală*. Pentru aceasta, pe glisiere se aşază o riglă de oţel, aşa cum se vede în figura 3-5; în cealaltă direcţie (longitudinală), verificarea se repetă pe rînd de cîteva ori, pînă cînd nivela *l* arată că motorul se află în poziţie perfect orizontală.

După verificare, glisierele se fixează de fundaţie prin strîngerea lor puternică cu ajutorul buloanelor de fixare, verificîndu-se apoi din nou poziţia orizontală a glisierelor.

Trebuie acordată o mare atenţie la *montarea maşinilor electrice prin cuplaje fixe*, deoarece deplasarea relativă a centrelor arborilor sau înclinarea lor produce vibraţii puternice şi uzura rapidă a lagărelor. Arborele maşinii electrice prezintă totdeauna o săgeată în planul vertical, din cauza greutăţii rotorului. Înconvoierea arborelui are loc şi în cazul cînd maşina se află în rotaţie şi săgeata este de ordinul sutimilor şi a zecimilor de milimetru. Dacă axele maşinilor sînt instalate perfect orizontal, suprafeţele frontale de contact ale semicuplajelor nu vor fi paralele, ci vor ocupa poziţia reprezentată în figura 3-6, *a*. Dacă, în cazul acestei poziţii a arborilor, semicuplajele se vor îmbina prin buloane, iar suprafeţele frontale ale semicuplajelor coincid, în timpul funcţionării maşinilor cele două capete ale arborilor vor fi supuse unor solicitări considerabile, care pot provoca vibraţia maşinii sau, chiar, ruperea arborilor.

Arborii trebuie astfel instalaţi încît suprafeţele frontale ale celor două semicuplaje să fie paralele; arborii vor ocupa poziţia reprezentată în figura 3-6, *b*, care se caracterizează prin aceea că lagărele marginale ale maşinilor se instalează mai sus decît cele mijlocii. În afară de aceasta, este necesar ca liniile axiale ale celor doi arbori să coincidă în locul de cuplare.

Poziţia motorului electric cuplat cu maşina de lucru cu ajutorul unui cuplaj, *poate fi verificată cu o riglă de oţel şi cu un spion* (fig. 3-7). Pentru aceasta, pe suprafeţele exterioare ale ambelor semicuplaje se marchează prin rizuri poziţia lor reciprocă şi se determină dimensiunile radiale şi axiale *a* şi *b*, în cazul cînd buloanele de îmbinare sînt scoase. Măsurările se efectuează în două puncte după verticală şi în două puncte

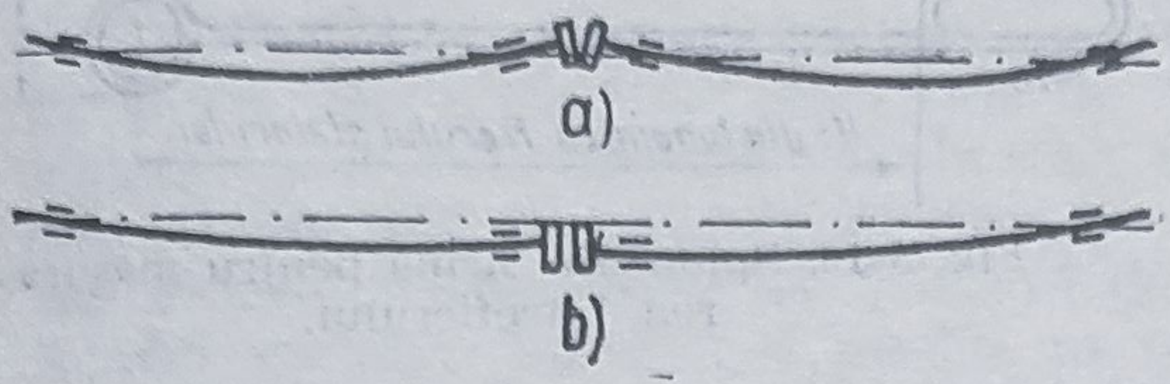


Fig. 3-6. Încovoierea arborilor maşinilor cu transmisie prin cuplaje.

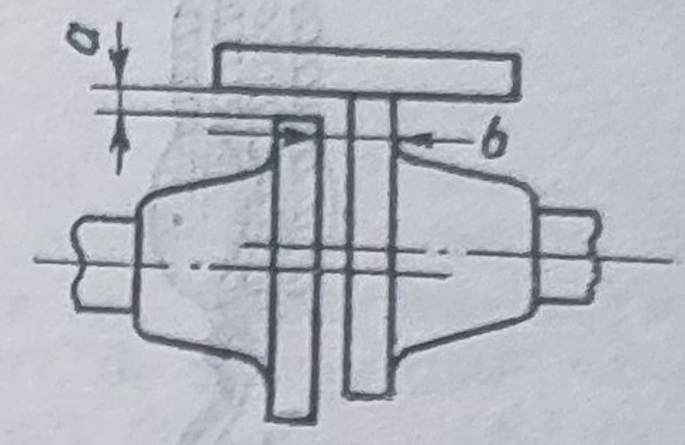


Fig. 3-7. Verificarea cuplării unui motor electric cu o maşină de lucru după poziţia semicuplajelor.

după orizontală ; după aceasta, cei doi arbori (împreună) sînt rotiţi cu 180°, iar cele opt măsuri se repetă.

Dacă semicuplajele au fost corect calate şi strunjite şi dacă toate dimensiunile *a* şi *b* au rămas aceleaşi, indiferent de rotirea celor doi arbori, centrarea lor este corectă. Dacă dimensiunile radiale *a* sînt diferite în diferitele puncte, iar după rotirea simultană a arborilor cu 180° ele nu se schimbă, aceasta denotă că suprafaţa cilindrică a semicuplajelor este corectă şi că centrele arborilor care urmează a fi cuplate nu coincid. Dacă dimensiunile axiale *b* sînt diferite şi dacă, după o rotire simultană a arborilor, diferenţa pe verticală şi pe orizontală nu variază, aceasta înseamnă că suprafeţele frontale ale semicuplajelor sînt corecte şi că există o denivelare în linia arborilor.

Metoda de centrare a arborilor după semicuplaje cu ajutorul unei rigle este foarte simplă, însă nu dă totdeauna rezultate. De aceea, *în cazurile importante, se recomandă folosirea metodei de centrare cu două ace de trasat.* Fiecare ac se fixează la capătul arborelui, lîngă semicuplaj sau, chiar pe simicuplaj (fig. 3-8). Precizia centrării depinde de lungimea acelor de trasat.

Cu ajutorul acelor se măsoară simultan atît jocurile radiale *a*, cît şi cele axiale *b*, în orice poziţie iniţială reciprocă a acelor de trasat. Se efectuează patru măsurări ale jocurilor axiale şi tot atîtea măsurări ale jocurilor radiale, prin rotirea simultană a ambilor arbori cu 90° (adică măsurările se fac după diametrul vertical şi după cel orizontal).

Pentru ca jocul axial al rotorului să nu influenţeze valoarea dimensiunilor *a* şi *b*, *în* cazul rotirii rotorului, este necesar ca în părţile frontale ale arborilor sau la canelurile opuse cuplajului să se pună opritoare speciale.

Se consideră că verificarea poziţiei arborilor este terminată cînd la verificarea jocurilor cu ajutorul acelor de trasat, între jocuri se obţine o diferenţă de ordinul a 0,02—0,05 mm (valoarea mai mică se referă la maşinile cu turaţie mare).

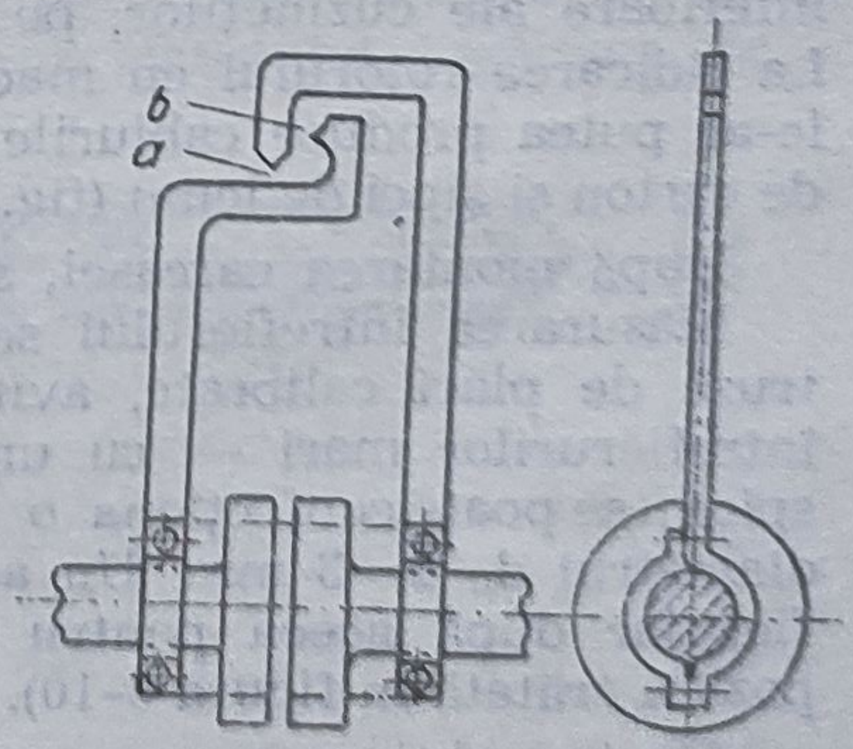


Fig. 3-8. Verificarea cuplării corecte cu ajutorul acelor de trasat.

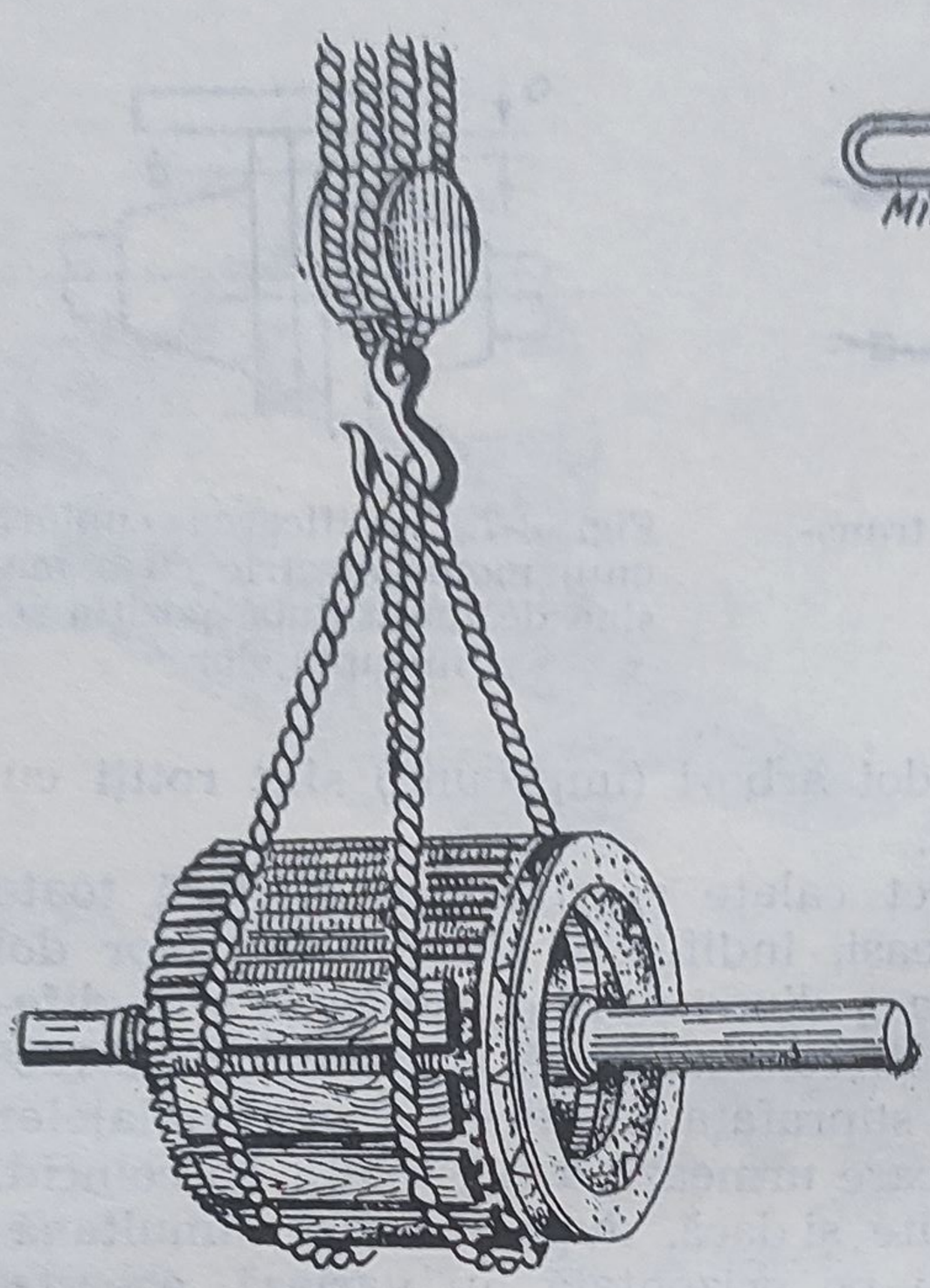


Fig. 3-9. Ridicarea rotorului cu macaraua.

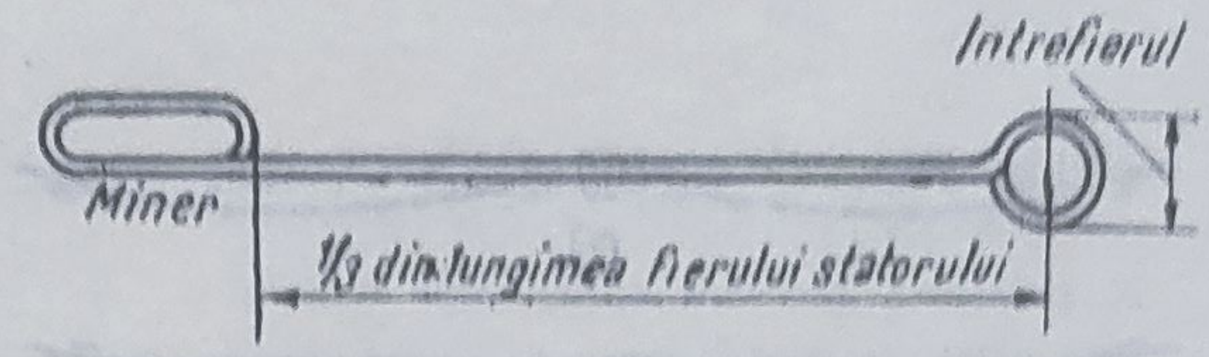


Fig. 3-10. Spion din sîrmă pentru măsurarea întrefierului.

Avînd în vedere dilatarea arborilor datorită încălzirii maşinilor în timpul funcţionării, între capetele lor se lasă o distanţă de 3—5 mm.

● **Instalarea maşinilor mari** este cea mai dificilă, deoarece manipularea transportul şi montarea se fac foarte greu datorită greutăţii şi gabaritului lor mare.

Maşinile mari sînt livrate de fabricile constructoare demontate. Aceste maşini au lagărele separate şi fixate pe placa de fundaţie, iar carcasa este demontabilă. Uzinele producătoare dau de obicei, o dată cu livrarea maşinii, şi instrucţiunile necesare pentru montaj.

Montajul se începe cu fixarea şi controlul orizontalităţii plăcii de fundaţie. Se montează apoi suporţii lagărelor, introducîndu-se jumătăţile inferioare ale cuzineţilor, pe care se lasă rotorul cu fusurile arborelui. La ridicarea rotorului cu macaraua, trebuie evitate deteriorările pe care le-ar putea produce cablurile de ridicare. Pentru aceasta se folosesc foi de carton şi şipci de lemn (fig. 3-9).

După montarea carcasei, *se controlează uniformitatea întrefierului.*

Măsurarea întrefierului se face cu spioni care sînt alcătuiţi dintr-o trusă de plăci calibrate, avînd lungimea de 250 mm sau — în cazul întrefierurilor mari — cu un spion special. Cînd lipseşte un asemenea spion, se poate confecţiona o trusă de spioni (figura 3-10) din sîrmă cu diametrul de 2—3 mm. Un asemenea spion se introduce pe lat în întrefier iar după aceea pentru măsurare, se roteşte cu 90° (se aşază în poziţia arătată în figura 3-10).

Pentru obţinerea unor măsurări mai precise ale întrefierului este necesar ca spionul să fie orientat paralel cu axa maşinii. Spionul trebuie

să atingă fierul statorului și al rotorului și să nu atingă pana din crestătură sau bandajul.

Întrefierul se măsoară pe ambele părți ale mașinii în cîteva puncte, de obicei patru, decalate unul față de altul cu 90°. La mașinile cu diametru mare, măsurarea se face în șase sau opt puncte. La mașinile de curent continuu și mașinile sincrone cu poli aparenți, măsurarea se face sub centrul fiecărui pol. Se măsoară de 3—4 ori, de fiecare dată rotind rotorul cu 90°. Întrefierul mediu în orice punct dat este media aritmetică a tuturor valorilor obținute în acest punct.

Reglarea întrefierului dintre rotor și stator se face modificînd grosimea și numărul de garnituri de sub tălpile statorului și deplasînd statorul pe orizontală. Uneori, la montaj, statorul se lasă mai jos cu 0,2—0,3 mm, pentru a obține la partea inferioară un întrefier ceva mai mare între rotor și stator.

Se montează apoi axele, inelele colectoare, portperiile, bornele etc. Verificarea montării înainte de punerea în funcțiune trebuie făcută amănunțit și chiar de mai multe ori, deoarece mici scăpări de montaj pot provoca distrugerea mașinii.

3. ORGANELE MECANICE DE TRANSMISIE ȘI DE FIXARE

● **Glisiere și plăci de fundație.** *Glisierele* constituie suporții mașinilor electrice, care se fixează de fundație și permit deplasarea mașinii în lungul lor. Deplasarea mașinii se face cu ajutorul unor șuruburi speciale, realizîndu-se astfel și întinderea curelei de transmisie.

Pentru mașinile mici, glisierele se toarnă din fontă, în forma unor plăci dreptunghiulare avînd un suport filetat pentru șurubul de întindere, așa cum se vede în figura 3-11.

Plăcile de funcționare se folosesc la mașinile mari, în cazul că lagărele sînt separate de carcasă. Plăcile de fundație folosesc de asemenea la fixarea comună a generatorului cu motorul Diesel sau cu turbina. Plăcile de fundație sudate sînt cele mai folosite și sînt executate în general cu profile I sau U, solidarizate între ele prin platbande, în care se filetează și găurile în care se fixează buloanele tălpilor carcasei statorului, lagărelor etc.

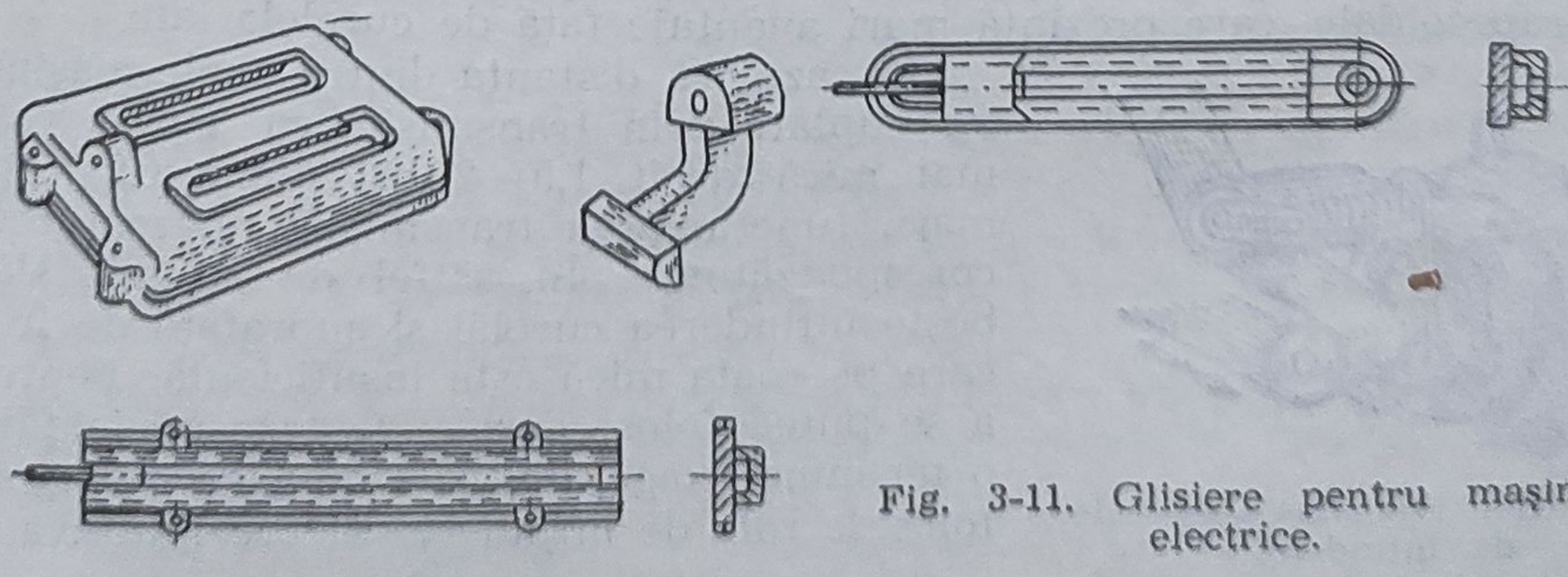


Fig. 3-11. Glisiere pentru mașini electrice.

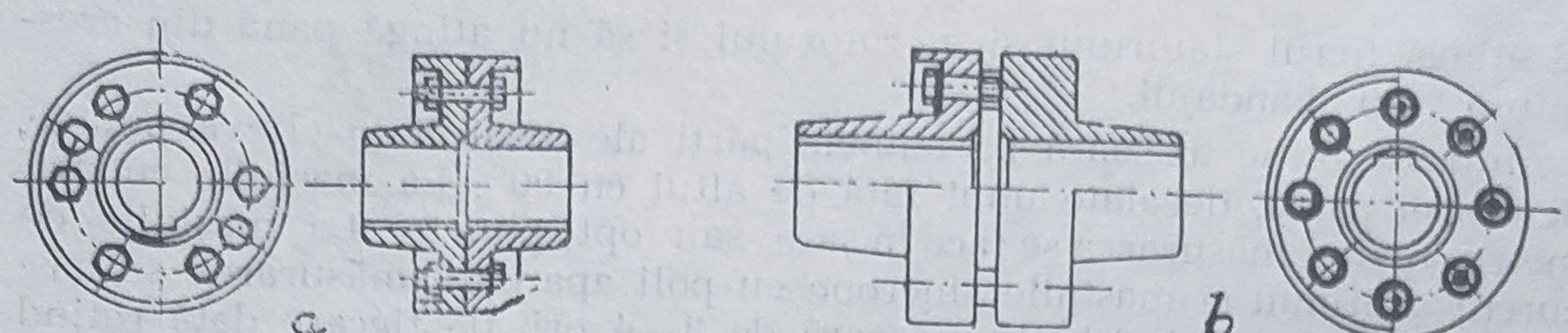


Fig. 3-12. Cuplaje:
a — rigid cu discuri ; *b* — elastic,

Plăcile de fundație se prelucrează numai pe partea unde se fixează mașina, fața ce se așază pe fundație putînd să rămînă neprelucrată.

● **Cuplaje.** Cuplajele servesc la transmiterea puterii mecanice de la arborele mașinii electrice la mașina care o antrenează. Cuplajele pot fi de mai multe feluri ; cuplaje rigide, cuplaje elastice și cuplaje semielastice.

Pentru a putea folosi cuplaje la transmiterea mișcării de la o mașină la alta, trebuie ca arborii celor două mașini să fie axiali.

Cuplarea rigidă a arborilor mașinilor electrice se face cu ajutorul flanșelor sau prin cuplarea cu discuri (figura 3-12, *a*).

Acest tip de cuplaj se folosește în general la mașinile mari.

Cuplajul elastic este cel mai des folosit, admițîndu-se mici abateri în privința coaxialității arborilor. Un astfel de cuplaj este reprezentat în figura 3-12, *b*.

O situație intermediară între cuplajul rigid și cel elastic o constituie *cuplajele semielastice*. Aceste cuplaje sînt mai complicate din punct de vedere constructiv și se folosesc mai rar.

Dimensiunile cuplajelor sînt standardizate.

● **Roți de curea și role de întindere.** La mașinile care au axele așezate paralel, transmiterea puterii mecanice se face prin curele de transmisie. *Avantajul transmisiei prin curele* constă în *posbilitatea cuplării unor mașini cu vteze dferte*, raportul cerut pentru viteze rezultînd din alegerea raportului diametrelor roților de transmisie.

Roțile de curea de diametre mici se toarnă din fontă, iar cele de diametre foarte mari se execută prin sudare. Suprafețele ce vin în contact cu arborele și cureaua se prelucrează. Roțile de transmisie turnate pentru curele sînt standardizate.

În ultimul timp se folosesc din ce în ce mai mult curele de transmisie trapezoidale, care prezintă mari avantaje față de curelele late.

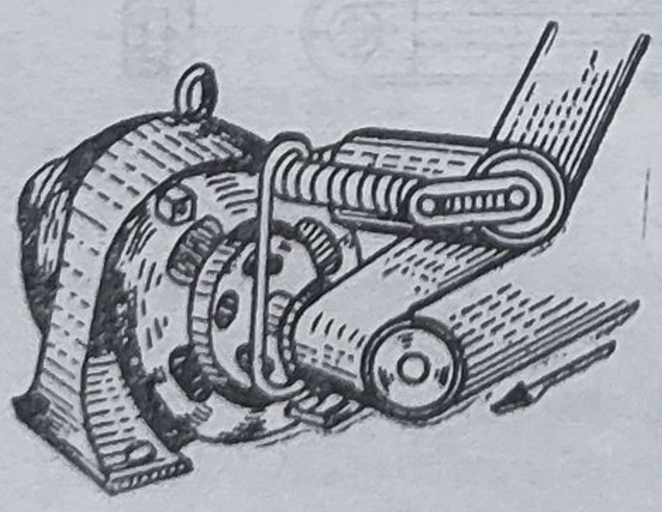


Fig. 3-13. Transmisie cu role de întindere.

În cazul că distanța dintre axele mașinilor cuplate prin transmisie cu curea este mai mică decît 1,5—2 ori diametrul roții mari, funcționarea transmisiei nu mai este corespunzătoare. În astfel de situații slăbește întinderea curelei și suprafața de frecare pe roata mică este insuficientă. Pentru a se putea folosi curele de transmisie fără o tensiune exagerată, în asemenea cazuri se folosesc role de întindere. Eleprezintă avan-

tajul că măresc suprafaţa de aderenţă pe roata de curea. În figura 3-13 este reprezentată o transmisie cu rolă de întindere.

Forţa necesară întinderii curelei este produsă de un resort sau o greutate ; în cazul rolelor mari este uneori suficientă şi numai greutatea rolei.

În cazul cînd nu se folosesc role de întindere, distanţa dintre centrele roţilor depinde de raportul de transmisie şi de poziţia roţilor.

4. PUNEREA ÎN FUNCŢIUNE A MAŞINILOR ELECTRICE

● Pregătirea maşinii. În cazul cînd o maşină electrică a fost depozitată timp mai îndelungat, a fost transportată într-un ambalaj necorespunzător sau chiar după efectuarea montajului, ea trebuie supusă următoarelor verificări din punct de vedere mecanic :

— se cercetează dacă buloanele, şuruburile şi piuliţele sînt bine strînse ;

— se mişcă rotorul cu mîna în ambele sensuri ;

— se cercetează dacă înfăşurările sînt curate, uscate şi dacă nu se află nici un element străin, vătămător, în interiorul motorului (această verificare nu se face la motoarele capsulate) ;

— se verifică prezenţa lubrifianţilor la lagăre.

Dacă în timpul depozitării sau al transportului a pătruns umezeală în maşină, va trebui să se verifice dacă rezistenţa de izolaţie nu a scăzut sub 500 000 Ω. Verificarea rezistenţei de izolaţie se face cu un ohmmetru sau prin metoda voltmetrului. În cazul cînd rezistenţa de izolaţie este mică, se procedează la uscarea izolaţiei astfel : se usucă maşina într-un cuptor, încetul cu încetul, fără a se depăşi 80°C. Uscarea în cuptor va dura cel puţin 6 ore. După aceasta se măsoară rezistenţa de izolaţie în stare caldă, cînd nu trebuie să fie mai mică decît 500 000 Ω. Uscarea poate fi completată prin punerea înfăşurărilor sub tensiune ; astfel, maşina se va încălzi complet şi mai uniform.

● **Legarea la reţea a maşinilor electrice.** După montarea maşinilor electrice şi verificarea funcţionării din punct de vedere mecanic, se poate trece la executarea legăturilor electrice. *Mai întîi trebuie verificat dacă tipul de conexiune* (stea sau triunghi) *corespunde tensiunii de alimentare* în acest punct. Legăturile la borne se fac cu papuci, şi la motoarele mici, direct cu conductorul. Se efectuează întîi legături provizorii, pentru a vedea dacă sensul de rotaţie este corespunzător. În caz de nepotrivire, se schimbă două faze între ele (la motoarele asincrone) sau polaritatea (la maşinile de curent continuu). După efectuarea legăturilor la borne şi în cazul cînd maşina este protejată prin relee termice, *se face reglajul releelor pe maşină*, adică se potriveşte curentul de reglare al releelor cu curentul nominal al maşinii. În cazul protecţiei prin siguranţe, *se verifică în ce măsură siguranţele protejează instalaţia* la pornire şi la funcţionarea de durată.

Prima conectare a maşinii electrice se efectuează cu un şoc care durează 1—2 secunde, după care se accelerează şi se frînează. În acest timp se verifică :

— sensul de rotaţie ;

— starea părţilor în mişcare ;

— valoarea curentului de pornire și siguranța acționării instalațiilor de deconectare;

— acțiunea protecției maximale și a altor elemente ale schemei de comandă.

Este indicat ca pornirea prin șoc să se efectueze de 2—3 ori, mărind treptat durata conectării.

Stabilind astfel siguranța instalațiilor de pornire și confirmarea stării bune a părții mecanice, se poate efectua conectarea mașinii pe o durată mai îndelungată. La pornirea motoarelor, împreună cu acționarea este necesar să se urmărească lipsa încălzirii inadmisibile a rezistențelor de pornire. După atingerea vitezei stabilizate, motorul se deconectează.

În timpul conectării se urmărește starea părții mobile a mașinii, lipsa vibrațiilor, umplerea normală cu ulei a lagărelor și la mașinile de curent continuu se apreciază comutația periilor. Dacă starea mașinii și funcționarea schemei de comandă sînt normale, se efectuează conectări repetate în cazul pornirii în trepte se scot treptat treptele de rezistență, motorul intră pe caracteristica stabilizată și atinge viteza normală.

În cazul unor rezultate satisfăcătoare obținute la pornirile de probă, mașina se conectează timp de 20—30 de minute. Se verifică încălzirea lagărelor, a bobinajului și a fierului circuitului magnetic. În acest timp, chiar la mașinile mici, piesele nu reușesc să se încălzească pînă la temperatura stabilizată, însă după caracterul creșterii acesteia se poate aprecia dacă există vreo parte a mașinii în care se degajă un surplus de căldură. Deteriorarea bobinajelor mașinilor este semnalată și de mirosul caracteristic de izolație arsă, care în multe cazuri, apare mai înainte ca bobinajul să ajungă să se distrugă.

Dacă mașina este cuplată cu un mecanism cu funcționare de durată, pornirea și verificarea funcționării sale se efectuează în mod analog cu încercarea motorului fără mecanism.

După conectarea de probă, timp de 20—30 minute se efectuează conectarea de durată a mașinii cu mecanismul (pentru rodaj). Rodajul efectuat în decurs de 8 ore sau mai mult are drept scop șlefuirea articulațiilor mobile ale mecanismelor, determinarea locurilor slabe ale schemei de comandă și verificarea echipamentului electric la încălzire.

B. VERIFICAREA ȘI REPARAREA PERIODICĂ

1. ORGANIZAREA ȘI CLASIFICAREA REPARAȚIILOR

În timpul funcționării lor, mașinile electrice se uzează, fiind supuse atît uzurii mecanice — datorită frecărilor, slăbirii îmbinărilor, slăbirii etanșeității etc. — cît și uzurii electrice — datorită solicitărilor electrice (uzura contactelor, scăderea rezistenței de izolație, străpungeri, conturnări etc.).

Reparațiile au ca scop înlăturarea uzurilor (electrice și mecanice), pentru aducerea mașinii sau aparatului respectiv în stare normală de funcționare.

Repararea poate fi organizată după mai multe sisteme și anume: *reparații* executate *după necesitate*, reparații *cu planificare rigidă*, reparații executate *după examinare* și reparații *preventive planificate*.

Sistemul de reparații preventive planificate este cel mai mult folosit.

În afara reparațiilor planificate, se mai execută unele reparații numite accidentale, atunci cînd apare necesitatea înlăturării imediate a unui defect.

Sistemul de *reparații preventive planificate* prevede următoarele feluri de reparații: reparații *curente*, reparații *mijlocii* și reparații *capitale*. Perioada dintre două reparații capitale se numește *ciclu de reparație*.

● **Reparațiile curente** prevăd înlăturarea defectelor sau înlocuirea pieselor a căror uzură nu mai garantează siguranța de funcționare cerută. Astfel, în cadrul reparațiilor curente se execută operațiile următoare:

— curățarea, ștergerea și ungerea;

— spălarea pieselor provenite de la mecanismele demontate și remedierea defectelor de suprafață;

— schimbarea pieselor uzate;

— spălarea, verificarea și repararea dispozitivelor de ungere și schimbarea lubrifiantului;

— grunduirea și vopsirea parțială.

● **Reparațiile mijlocii** sînt principalele feluri de reparații preventive planificate. Ele asigură păstrarea capacității normale de lucru a mașinii sau aparatului, pînă cînd subansamblurile principale ajung la limitele de uzură admise, cînd mașina sau aparatul trebuie să fie supuse unei reparații capitale.

Reparațiile curente și mijlocii se repetă de mai multe ori într-un ciclu de reparație. În perioada unui ciclu de reparații, unele subansambluri pot să sufere mai multe recondiționări, iar altele nici una, aceasta depinzînd de gradul de uzură la care au ajuns.

Reparațiile mijlocii se deosebesc de reparațiile curente numai prin volumul lucrărilor care se execută, deoarece, pe lîngă lucrările prevăzute în cadrul reparațiilor curente, se execută și lucrări mai complexe. Spre exemplu, în tabela 3-1 se enumără lucrările efectuate la o reparație mijlocie pentru motoarele electrice și aparatajul de pornire.

Reparațiile mijlocii se efectuează fără a demonta mașina sau aparatul din organele de fixare. Fac excepție mașinile și aparatele mici, a căror reparare se face mai ușor și mai repede în atelierul de întreținere.

● **Reparațiile capitale** urmăresc restabilirea într-o măsură cît mai mare a capacității de lucru a mașini sau aparatului electric supus reparării.

În cursul reparației capitale se execută toate lucrările prevăzute la reparațiile curente și mijlocii și, în plus, demontarea completă și înlocuirea tuturor pieselor uzate.

În timpul reparațiilor capitale se pot înlocui peste 50% din piesele componente ale mașinii. Pentru exemplificare, se arată în tabela 3-2 lucrările efectuate la o reparație capitală pentru motoare electrice și aparataj de pornire.

Tabela 3—1

Lucrările executate la o reparație mijlocie pentru motoare electrice și aparataj de pornire

Nr. crt.	Denumirea lucrării	Conținutul lucrării
	Motor asincron cu inele	
1	Curățirea motorului electric fără demontare	— Curățirea inelelor colectoare și a portperiilor — Curățarea bobinajelor și canalelor de ventilație în locurile accesibile — Curățarea părții exterioare a carcasei — Măsurarea rezistenței de izolație
2	Revizia buloanelor de fixare și strîngerea piuliţelor	— Revizia buloanelor de fundație — Revizia buloanelor scuturilor portlagăr — Revizia buloanelor capacelor de la lagăre — Revizia buloanelor, a șuruburilor și a piuliţelor de la mecanismul de ridicare a periilor — Revizia legării la pămînt
3	Revizia transmisiei	— Verificarea fixării roții de curea, a pinionului și a cuplajului — Verificarea uzurii pinioanelor și înlocuirea lor, în caz de necesitate
4	Revizia și verificarea portperiilor și periilor	— Reglarea apăsării periilor pe inele — Înlocuirea periilor foarte uzate — Șlefuirea periilor — Reglarea portperiilor (reglarea distanței dintre portperie și inel)
5	Revizia lagărelor	— Verificarea inexistenței înțepenirii inelelor de ungere — Verificarea jocului la lagăre — Verificarea inexistenței zgomotului și a supraîncălzirii
6	Revizia contactelor la bornele motorului	— Verificarea inexistenței supraîncălzirilor — Înlocuirea papucilor (în caz de necesitate) — Strîngerea piuliţelor
7	Revizia și curățirea reostatului	— Curățarea exterioară a reostatului — Curățarea ploturilor și înlocuirea lor (în caz de necesitate) — Înlocuirea elementelor de rezistență defectate — Completarea uleiului — Revizia legării la pămînt
8	Revizia și curățarea aparatului de pornire	— Curățarea aparatului de pornire, fără demontarea lui — Curățarea contactelor și înlocuirea lor (în caz de necesitate) — Înlocuirea pieselor defectate — Revizia legării la pămînt — Măsurarea rezistenței de izolație
	Observație: Pentru motoarele electrice în scurtcircuit, punctele care se referă la rotorul bobinat nu se iau în considerare.	
	Motorul de curent continuu	
1...9	Curățarea și verificarea motorului electric și a aparatajului de pornire, fără demontare	Punctele 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, și 8 sînt aceleași ca și pentru motorul asincron. În afară de acestea, se execută o amănunțită revizie a colectorului și curățarea lui

Tabela 3—2

Lucrările executate la o reparație capitală pentru motoare electrice

Nr. crt.	Denumirea lucrărilor	Conținutul lucărilor
1	2	3
	Motorul asincron :	
1	Verificarea înainte de demontare	— Măsurarea întrefierului dintre stator și rotor — Măsurarea jocului la lagăre — Măsurarea rezistenței de izolație
2	Curățarea însoțită de demontare	— Curățarea canalelor de ventilație — Curățarea și lăcuirea bobinajelor — Spălarea lagărelor — Curățarea inelelor colectoare și a portperiilor — Curățarea plăcii de borne — Curățarea transmisiilor (cuplaje, pinioane, roți de curea etc.)
3	Înlocuirea și așezarea pieselor defectate și uzate	— Turnarea din nou sau înlocuirea cuzineților lagărelor ; înlocuirea rulmenților cu bile și cu role uzate — Înlocuirea și repararea pieselor defecte ale portperiilor și ale mecanismului de ridicare a periilor — Înlocuirea periilor uzate — Remedierea defectelor la conducta de aer de răcire (pentru motoarele electrice cu ventilație) — Strunjirea inelelor rotorului (în caz de necesitate) — Înlocuirea pieselor uzate și defecte ale transmisiei (a pinioanelor, a cuplajelor etc) — Înlocuirea papucilor defecți ai cablului de alimentare
4	Asamblarea motorului electric și verificarea poziției lui pe fundație	— Verificarea fixării pieselor transmisiilor (cuplajele, roțile de curea etc.) — Verificarea poziției motorului electric pe fundație. — Verificarea și strîngerea îmbinărilor cu buloane — Verificarea întrefierului dintre rotor și stator
5	Reglarea portperiilor și a periilor	— Reglarea apăsării periilor — Șlefuirea periilor — Reglarea interstițiului dintre portperie și inel.
6	Verificarea legării la pămînt	— Revizia și repararea bornelor și conductoarelor de legare la pămînt.
7	Revizia, curățarea și repararea reostatului	— Demontarea și curățarea reostatului — Curățarea sau înlocuirea uleiului (în cazul reostatelor în ulei) — Curățarea și înlocuirea ploturilor defecte (dacă este cazul) — Înlocuirea elementelor defecte ale rezistențelor. — Verificarea îmbinărilor reostatului, după asamblare — Revizia și repararea legăturilor la pămînt

continuare tab. 3-2

Nr. crt.	Denumirea lucrărilor	Conținutul lucrărilor
1	2	3
8	Revizia, curățarea și reglarea aparatajului de pornire	— Curățarea aparatului (demontarea în măsura necesității) — Curățarea stratului de oxid și fixarea contactelor — Curățarea și înlocuirea lamelelor de contact (dacă este cazul) — Reglarea apăsării contactelor — Revizia și repararea legăturilor la pămînt — Repararea sau înlocuirea pieselor defecte ale mecanismului de conectare
9	Verificarea și reglarea protecției	— Verificarea corespondenței între siguranțele fuzibile și curentul circuitului — Verificarea corespondenței releelor termice cu intensitatea curentului circuitului — Verificarea și punerea la punct a releelor maximale, de tensiune nulă și de timp (în cazul cînd acestea există)
10	Verificarea după reparație	— Verificarea izolației — Încercarea în sarcină a motorului electric, a reostatului și a aparatajului de pornire

Observație: Pentru motoarele în scurtcircuit, punctele care se referă la rotorul bobinat nu se iau în considerare.

	Motorul de curent continuu:	
1	Verificarea înainte de demontare	Idem ca și pentru motorul asincron
2	Curățarea însoțită de demontare	Idem ca și pentru motorul asincron (în locul inelelor colectoare se curăță colectorul)
3	Înlocuirea și repararea pieselor	Idem ca și pentru motorul asincron (în locul strunjirii inelelor colectoare, se execută canelarea colectorului).
4...9		Idem ca și pentru motorul asincron

2. LUCRĂRI CURENTE PENTRU ÎNTREȚINEREA MAȘINILOR ELECTRICE

La majoritatea instalațiilor se cere ca mașinile electrice să fie în permanență în stare de funcționare. Acest fapt reclamă o permanentă supraveghere și remediere a micilor defectări în timpul lucrului sau în timpul opririlor de scurtă durată.

În cele ce urmează se va arăta pe scurt modul în care se execută principalele lucrări de întreținere.

● **Determinarea cauzelor zgomotelor anormale.** Determinarea cauzelor zgomotelor anormale și ale vibrațiilor trebuie făcută în mod permanent, deoarece zgomotele anormale sînt produse de cauze care, pe lîngă zgomote pot produce și defectări grave. *Sursele de zgomot* în mașinile electrice pot *fi lagărele, ventilatoarele, canalele radiale de ventilație, periile* sau *miezurile de fier rău presate* ale statorului sau rotorului.

Lagărele de alunecare lucrează cu un zgomot foarte mic, lagărele de rulare lucrează cu un zgomot mic, în cazul jocului arborelui nu este prea mare sau rulmentul este bine montat și neuzat.

Ventilatoarele pot produce zgomot în cazul cînd plasele de intrare sau de ieșire a aerului sînt turtite sau astupate parțial.

De asemenea, se pot produce zgomote sub forma de fluierături și în cazul cînd la *pachetul de tole* ale statorului și rotorului *canalele de ventilație* nu sînt suficient degajate sau sînt așezate unele în fața celorlalte.

În timpul funcționării, *periile* produc un zgomot ușor de frecare. În cazul colectoarelor sau al inelelor uzate, zgomotul este mai puternic.

● **Determinarea cauzelor vibrațiilor.** Vibrațiile mașinilor electrice se pot produce din cauze interne și din cauze externe. *Cauzele interne* pot fi : uzura lagărelor sau dezechilibrarea rotorului. *Cauzele externe* pot fi mecanismele de transmisie, fundația sau centrarea defectuoasă a arborilor în cuplaje.

● **Verificarea transmisiei și fixării.** Verificarea transmisiei și a fixării se face cu scopul de evita producerea de vibrații sau deplasări față de poziția normală stabilită la instalare. În cadrul acestei verificări se vor examina cusăturile și întinderea curelelor, fixarea cuplajelor etc.

Slăbirea fixării în fundație sau pe glisiere poate produce vibrații și deranjamente în transmisie.

În *cazul slăbirii transmisiei prin curele late,* se procedează la scurtarea acestora și la efectuarea unei noi cusături. În *cazul transmisiei prin curele trapezoidale,* se va proceda la întinderea acestora cu ajutorul șuruburilor de întindere ale glisierelor.

● **Ajustarea și înlocuirea periilor.** Ajustarea și înlocuirea periilor se face în scopul asigurării unui contact cît mai bun între colector și perie.

În timpul funcționării se poate întîmpla ca muchiile periei să se spargă sau să se uzeze și astfel contactul între perie și colector să nu se mai facă pe numărul de lamele necesar.

Pe suprafața periilor se produc de asemenea zgîrieturi în care se strînge praful de cupru de la lamelele colectorului. Toate aceste înrăutățesc contactul între perie și colector. Pentru înlăturarea acestor lipsuri, periile trebuie ajustate pe colector, prin șlefuire cu hîrtie sticlată. Șlefuirea se începe cu hîrtie sticlată cu numere mari și treptat se folosește hîrtie cu numere mici. Poziția corectă a hîrtiei sticlate în timpul șlefuirii este reprezentată în figura 3-14, *a*.

Este interzis să se întrebuințeze pentru șlefuire pînza abrazivă, deoarece praful abraziv care se formează, pătrunzînd în canalurile dintre lamelele colectorului, le scurtcircuitează.

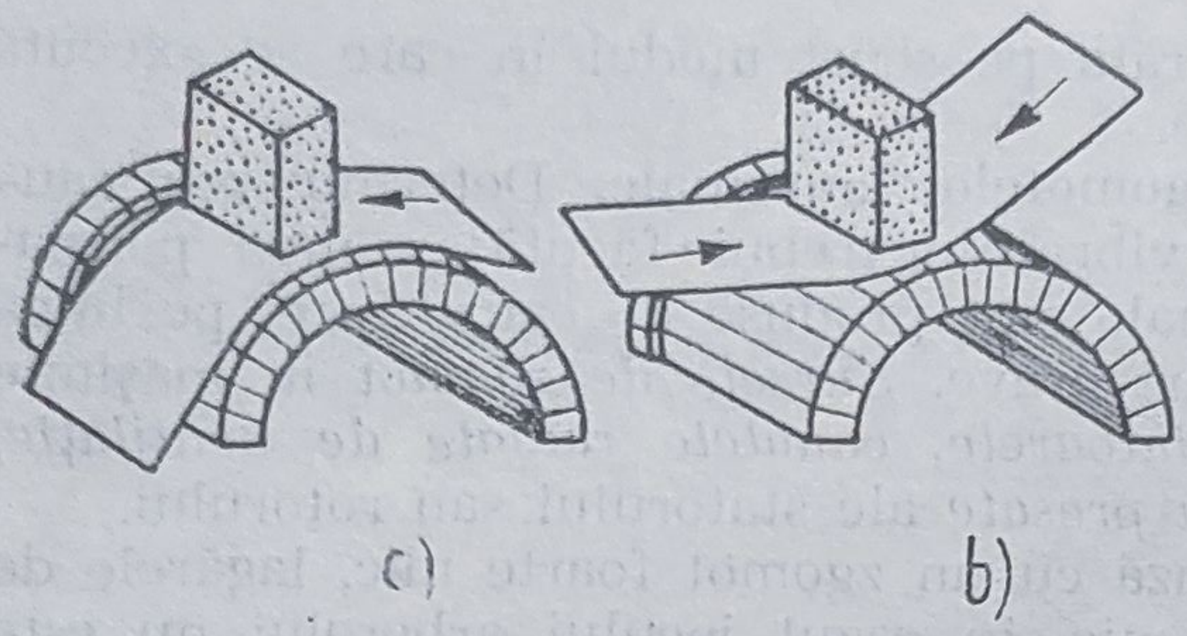


Fig. 3—14. Șlefuirea periilor cu hîrtie sticlată : *a — corect ; b — incorect.*

Șlefuirea periilor direct pe colector întîmpină de multe ori dificultăți din cauza lipsei de spațiu. Șlefuirea periilor se poate executa cu ajutorul unei șaibe de lemn, avînd diametrul egal cu al colectorului și pe a cărei periferie este lipită hîrtie de șlefuit ; se demontează cîte una sau două portperii și se fixează în poziția corespunzătoare față de șaiba cu hîrtie de șlefuit ; periile se șlefuiesc prin învîrtirea manuală a șaibei.

Metoda elimină căderea prafului de cărbune de la șlefuire în bobinaj și dă posibilitatea pregătirii din timp a rezervelor de perii gata șlefuite.

La o uzură pronunțată a periilor este necesar să se procedeze la schimbarea lor. Nu este admis ca periile să mai lucreze după ce uzura a ajuns la porțiunea cuprată. Se recomandă ca toate periile de pe o tijă să fie înlocuite în același timp, deoarece dacă periile au înălțimi diferite și sînt apăsate cu forțe diferite, curentul nu se va repartiza uniform între perii.

Alegerea corectă a calității periilor este foarte importantă pentru buna funcționare a motorului. Pentru alegerea periilor se recomandă criteriile cunoscute, ca : densitatea de curent, viteza periferică a colectorului, presiunea specifică etc.

Se folosesc și tabele, care recomandă peria cea mai adecvată pentru fiecare grupă de mașină rotativă.

Pe lîngă alegerea calității corespunzătoare a periei este importantă și *reglarea corectă a acesteia* ; jocul admis între perie și portperie trebuie să fie cuprins între 0,05—0,2 mm. La periile care stau în unghi drept față de tangenta la punctul de contact cu colectorul, nu se admit abateri mai mari de 4—5°. La periile înclinate în sensul de rotație a colectorului, unghiul format de axa periei cu diametrul colectorului trebuie să fie de 30—37,5° ; la periile înclinate contrar sensului de rotație, acest unghi trebuie să fie sub 20°.

Pentru a ține periile în stare curată, se recomandă spălarea lor cu tetraclorură de carbon.

● **Verificarea forței de apăsare între perie și colector.** Presiunea pe care o exercită degetul de presare asupra periei trebuie să corespundă unei anumite presiuni specifice, care depinde de marca și dimensiunile periei. Presiunea pe diferite perii nu trebuie să se deosebească cu mai mult de 10% din valoarea presiunii medii.

Verificarea presiunii asupra periilor se face cu dinamometrul (fig. 3-15), fixat de degetul de presare al periei pe colector. Presiunea se determină așezînd între perie și colector o foaie de hîrtie și ridicînd treptat dinamometrul ; indicația acestuia în momentul în care hîrtia poate fi scoasă ușor va corespunde presiunii periei de colector.

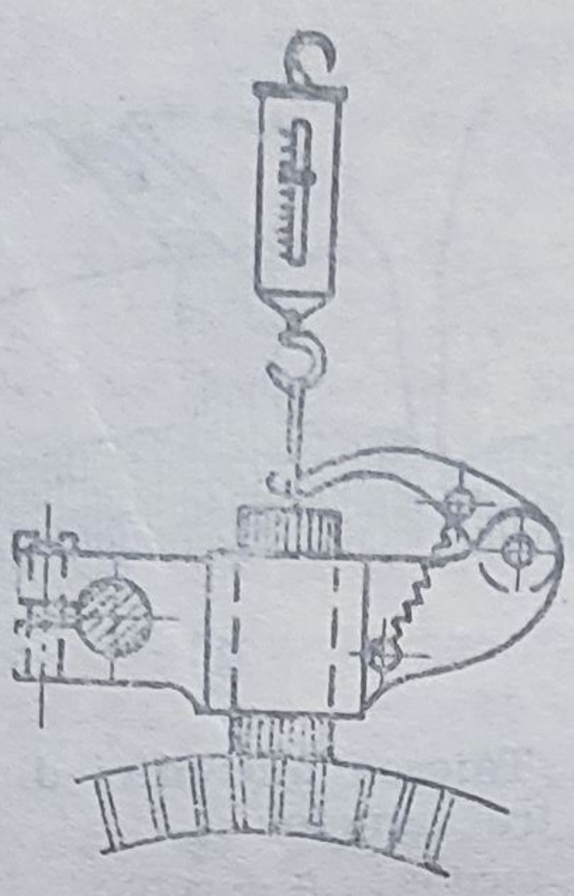


Fig. 3-15. Verificarea forței de apăsare între perie și colector.

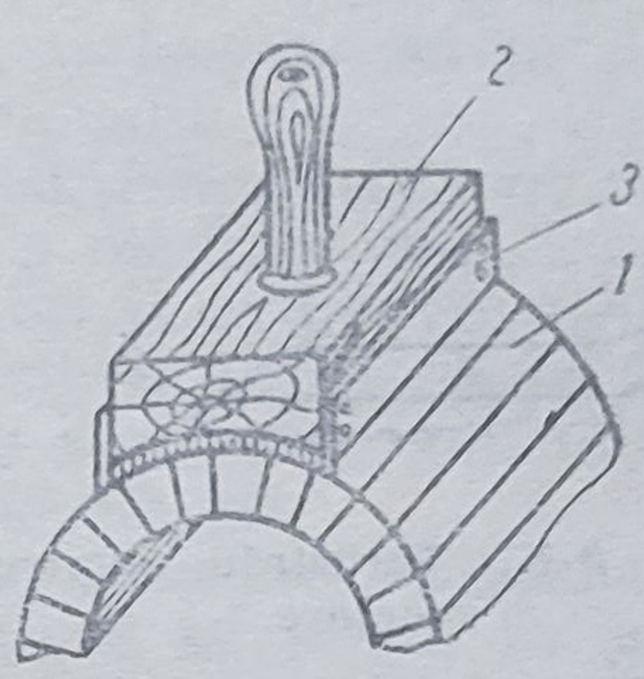


Fig. 3-16. Șlefuirea colectorului : *1 — colector ; 2 — sabot ; 3 — hîrtie sticlată.*

● **Curățarea colectoarelor.** Curățarea colectoarelor este una din principalele probleme de întreținere a mașinilor de curent continuu și a celor de curent alternativ cu colector. În general, cauza deteriorării suprafeței colectorului este scînteierea de sub perii. Pentru observarea scînteierii este necesar să se privească peria în sensul rotirii colectorului. De obicei, în astfel de situații se constată pe colector niște linioare datorită arsurilor.

Uneori suprafața colectorului devine rugoasă din cauza zgîrieturilor și a arsurilor. În acest caz, colectorul trebuie șlefuit cu hîrtie sticlată fină. Hîrtia se apasă pe colector cu ajutorul unui sabot special de lemn de esență tare, în care se face o scobitură după forma suprafeței colectorului (fig. 3-16).

Prin așezarea incorectă a periilor pe colector, pe el se formează șanțuri și suprafața colectorului devine ondulată.

Acest defect se înlătură prin strunjirea colectorului.

Plăcile de micanită ale colectorului sînt mai joase decît lamelele de cupru ; din această cauză, în timpul funcționării ele se uzează mai puțin și cu timpul rămîn deasupra lamelelor. Pentru înlăturarea acestui defect, colectorul trebuie canelat, adică micanita dintre plăci trebuie să se taie cu ajutorul unui ferăstrău sau cu o bucată de pînză de ferestrău pentru metale (fig. 3-17).

Micanita trebuie tăiată pe toată lățimea, așa cum este reprezentat în figura 3-18, *b*, și apoi trebuie să se ajusteze fațetele de la marginile lamelelor de colector. Apoi colectorul se șlefuiește.

Colectorul murdărit cu praf de cărbune sau de cupru, trebuie frecat cu o cîrpă curată (care să nu lase scame), umezită în benzină, și apoi trebuie șlefuit.

● **Reglarea traversei periilor.** Reglarea traversei periilor se face în cazul cînd, din anumite motive, poziția periilor nu mai este cea corectă, adică periile nu se mai află pe axa neutră. *Reglarea* traversei periilor se poate face *cu mașina funcționînd* sau *cu rotorul în repaus.*

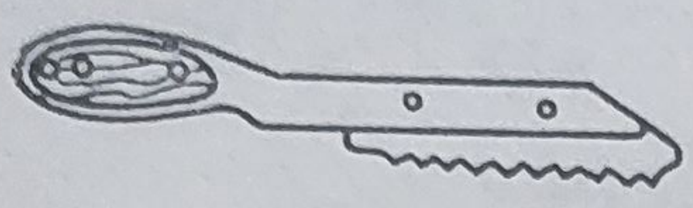


Fig. 3-17. Ferăstrău pentru canelare.

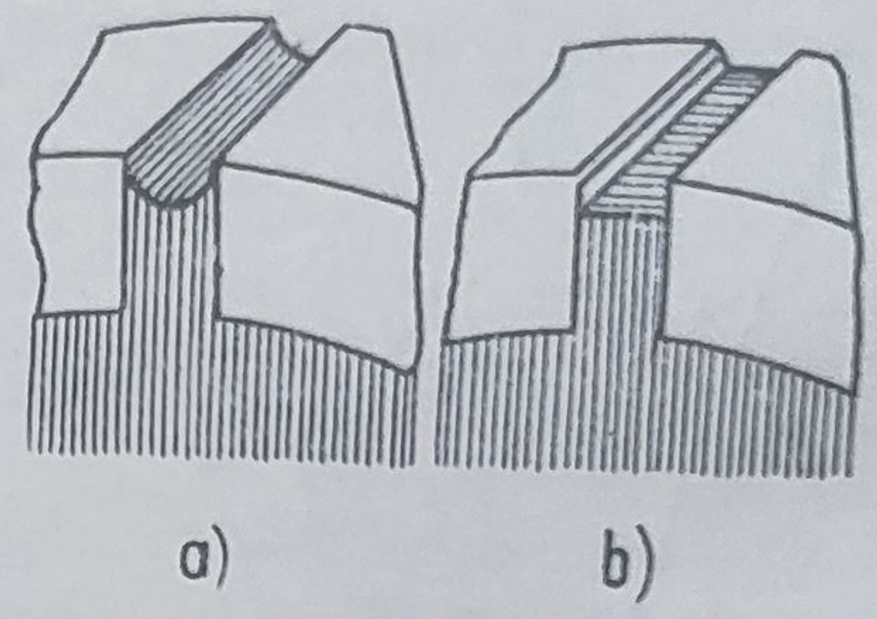


Fig. 3-18. Tăierea micanitei dintre lamele :
a — incorect ; b — corect

Reglarea traversei periilor în timpul funcționării mașinii se face rotind încet traversa și urmărind scînteierea de sub perii. Cînd periile se află pe axa neutră, scînteierea este cea mai redusă.

Verificarea poziției corecte a traversei se face și printr-o metodă bazată pe fenomenul de inducție, **cu mașina în stare de repaus,** după șlefuirea în prealabil a periilor pe colector.

Bobinajul de excitație este alimentat cu curent continuu de la o baterie de acumulatoare printr-un reostat (fig. 3-19). Valoarea curentului în bobinaj nu trebuie să depășească circa 5—10% din valoarea curentului nominal, pentru prevenirea străpungerii bobinajului din cauza supratensiunilor ce apar în momentul deconectării bobinajului. La bornele rotorului se conectează un milivoltmetru (de preferință un aparat cu punctul zero la mijlocul scării). Se deconectează și se conectează bobinajul de excitație ; în acest timp, în bobinajul rotorului se va induce o tensiune electromotoare, iar acul milivoltmetrului va devia într-o parte sau alta, în funcție de poziția periilor. În cazul în care periile se află pe axa neutră, tensiunea electromotoare trebuie să fie practic egală cu zero.

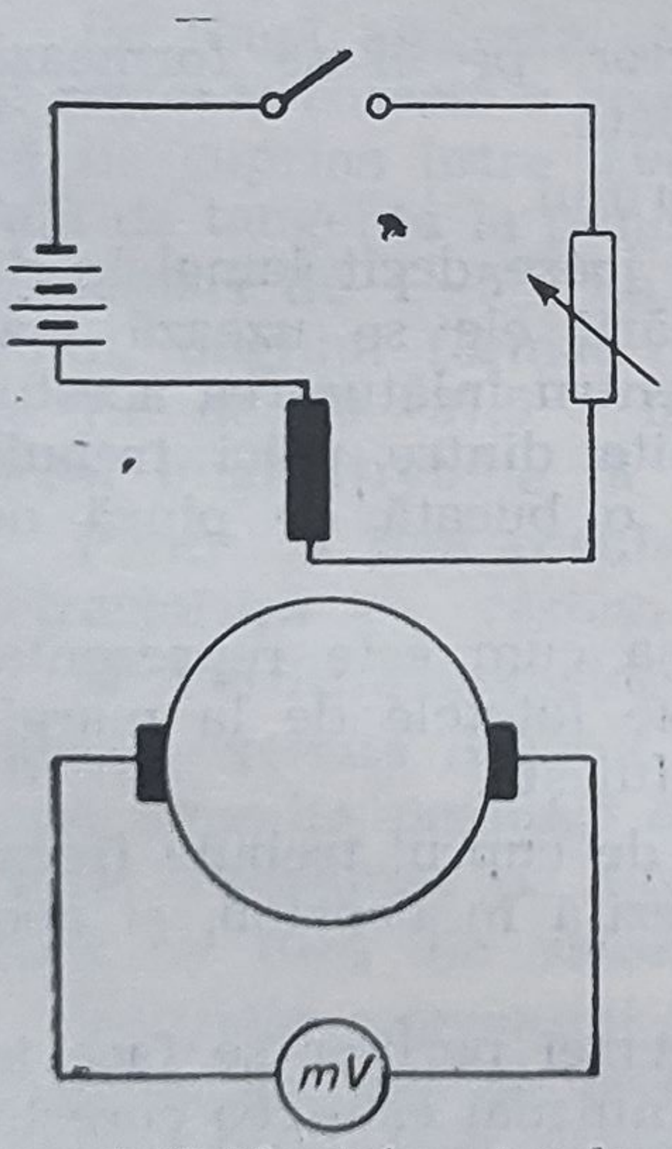


Fig. 3-19. Montaj pentru determinarea poziției periilor.

Brațul cu perii se mișcă pînă în momentul cînd la conectarea și deconectarea curentului în bobinajul de excitație, acul milivoltmetrului nu va devia sau va devia foarte puțin. Aceasta este poziția corectă a periilor.

● **Completarea și înlocuirea uleiului din lagăre.**

Completarea și înlocuirea uleiului din lagăre se face periodic, la intervale de 2—4 luni sau de cîte ori se constată că nivelul uleiului a scăzut. Lagărele de alunecare cer o supraveghere zilnică a funcționării lor.

Supravegherea constă în verificarea temperaturii lagărului prin atingerea capacului cu mîna. Dacă se constată o temperatură mai

înaltă, se verifică mai exact, cu termometrul. Se admite o temperatură maximă de 45°C la lagărele de alunecare și de 60°C la lagărele oscilante. Se controlează, de asemenea, funcționarea inelului de ungere; acesta trebuie să se rotească, liber fără a se lovi de pereți, și trebuie să ridice neîntrerupt uleiul spre fusul arborelui.

Completarea uleiului se face printr-o deschidere specială, care servește în același timp și ca indicator de ulei. La mașinile mari, cu lagărele separate de corpul mașinii, se prevede uneori și un tub de sticlă pentru controlul nivelului de ulei. Completarea uleiului trebuie să se facă pînă la semnul indicat la fiecare lagăr; dacă se pune prea mult ulei, acesta se scurge atacînd izolația și murdărind locul din jur.

Pentru ungerea lagărelor trebuie să se folosească totdeauna uleiul recomandat de fabrica constructoare; aceasta se referă în special la mașinile mari. Dacă fabrica constructoare nu a dat nici o indicație, la alegerea uleiului pentru o anumită mașină, se ține seama de considerentele expuse în continuare.

Astfel, cu cît sarcina pe lagăr este mai mare și cu cît temperatura mediului este mai înaltă, cu atît uleiul trebuie să fie mai vîscos. Folosirea unui ulei mai vîscos decît este necesar nu este permisă, deoarece în acest caz se măresc pierderile prin frecare, care sînt proporționale cu viscozitatea uleiului.

Datele de orientare pentru alegerea sortului de ulei în funcțiune de turație, sînt prezentate în tabele sau în diagrame.

● **Verificarea bobinajelor.** Înfășurările statorice și rotorice ale mașinilor electrice trebuie întreținute și în caz de nevoie reparate cu cea mai mare atenție, deoarece de ele depinde funcționarea întregii mașini.

În cadrul operațiilor de întreținere a înfășurărilor, trebuie avute în vedere următoarele considerente:

— încălzirea bobinajelor la funcționarea normală să nu depășească limitele admisibile prevăzute pentru materialele izolante folosite;

— pe capetele de bobină sau pe bobinele polare să nu se depună praf conductor provenit de la uzura periilor sau din mediul ambiant;

— prin măsurarea rezistenței de izolație se poate stabili gradul de umezire a izolației și eventuala necesitate a operației de uscare;

— verificarea acțiunii corozive a mediului înconjurător (dacă e cazul) asupra izolației înfășurării;

— lipsa frecărilor organelor mobile de capetele înfășurărilor statorice;

— starea bandajelor înfășurărilor rotorice;

— starea lipiturilor între bare (în cazul bobinajelor în bare) și la colector etc.

● **Controlul încălzirii mașinilor.** Controlul încălzirii mașinilor electrice în timpul funcționării se face cu scopul de a feri izolația de deteriorare. Se știe că temperatura admisibilă depinde de clasa de izolație în care se încadrează materialul folosit la izolarea înfășurărilor.

Măsurarea temperaturii diferitelor elemente ale mașinii se face numai după ce temperatura s-a stabilizat, adică a atins temperatura care nu se mai modifică oricît ar funcționa mașina. În general, la o mașină mijlocie, de construcție normală, temperatura se stabilizează după 6-8 ore de funcționare la sarcina respectivă.

Măsurarea temperaturii bobinajelor se face prin măsurarea rezistenței acestora la rece și la cald. Folosind această metodă, încălzirea înfășurărilor se determină prin creșterea rezistenței acestor înfășurări. Creșterea rezistenței se va măsura, dacă este posibil, în timpul încercării de încălzire sau imediat după oprirea mașinii. La bobinajele indusului cu colector, măsurarea creșterii rezistenței datorită încălzirii se face introducînd curentul în bobinajul legat între două lamele de colector care să cuprindă un număr cît mai mare de conductoare în serie, periile mașinii fiind ridicate.

Calculul încălzirii bobinajului din cupru sau aluminiu, care rezultă din creșterea rezistenței, se face cu relația :

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1}\left(\theta_1 + \frac{1}{\alpha}\right) + \theta_1 - \theta_a,$$

unde :

R_1 este rezistența inițială a bobinajului (la rece) ;
R_2 — rezistența bobinajului la sfîrșitul încercării ;
θ_1 — temperatura bobinajului (în °C) în momentul măsurării rezistenței inițiale (la rece) ;
θ_2 — temperatura bobinajului (în °C) la sfîrșitul încercării ;
θ_a — temperatura aerului ambiant (în °C), la sfîrșitul încercării ;
$\frac{1}{\alpha} = 235\left[\frac{m}{\Omega\, mm^2}\right]$ pentru bobinaje din cupru ;
$\frac{1}{\alpha} = 245\left[\frac{m}{\Omega\, mm^2}\right]$ pentru bobinaje din aluminiu.

Temperatura bobinajului înaintea încercării, măsurată cu termometrul, trebuie să fie practic cea a mediului ambiant.

Măsurarea temperaturii altor elemente (lagăre, colector, fierul statorului și rotorului etc.) se face cu termometrul.

● **Reglarea jocului longitudinal al arborelui.** Reglarea jocului longitudinal al arborelui trebuie făcută, la nevoie, astfel ca jocul axial să fie distribuit uniform între ambele lagăre. Mașinile cu lagăre de alunecare au totdeauna un joc longitudinal al arborelui, din cauza jocurilor axiale între bucșele lagărelor și umerii de oprire ai arborelui, așa cum se vede în figura 3-20. Jocul axial nu trebuie să depășească valorile indicate în tabela 3-3, deoarece creșterea excesivă a jocului longitudinal poate să ducă la agățarea ventilatorului de legăturile bobinelor, de capetele bobinelor înfășurării statorului, sau să-l facă să frece de scut.

Jocul arborelui rotorului poate fi dereglat din cauza uzurii scuturilor sau prin slăbirea buloanelor de strîngere a lagărelor pe arbore. Un joc axial unilateral arată că umărul de oprire al arborelui se lipește la unul dintre lagăre.

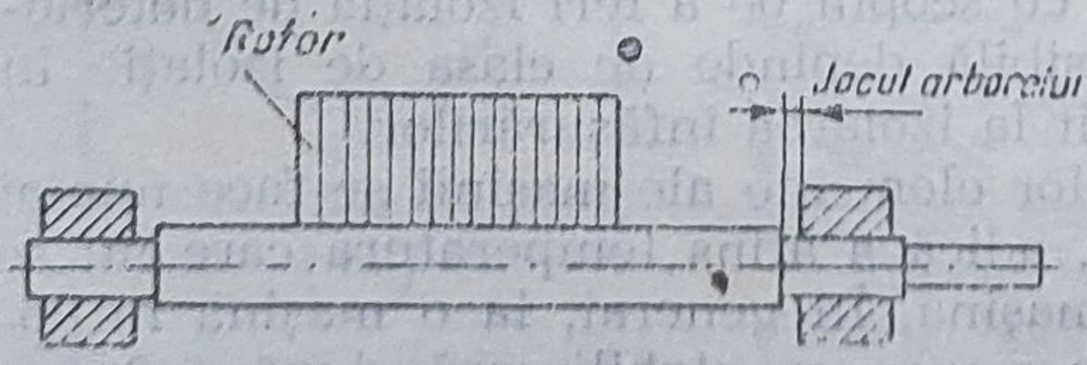


Fig. 3-20. Reglarea jocului longitudinal al arborelui.

Reglarea jocului axial al arborelui se face prin deplasarea bucșelor în capetele lagărelor. Prin împingerea rotorului într-una din părți nu se realizează nimic, deoarce poziția acestuia

Tabela 3—3

Jocul admisibil al arborelui

Puterea maşinii [kW]	Jocul arborelui intr-un sens [mm]	Jocul arborelui in ambele sensuri [mm]
pînă la 10	0,50	1,00
10— 30	0,75	1,50
30— 70	1,00	2,00
70—125	1,50	3,00
125	2,00	4,00

este determinată de atracţia magnetică a polilor şi forţele magnetice îl vor aduce în poziţia iniţială.

La reglarea jocului axial se procedează aşa cum se indică în exemplul următor :

Se presupune că maşina verificată este un motor de 150 kW şi deci jocul axial ar trebui să fie de cîte 2 mm în fiecare sens. La verificare se constată că, apăsînd pe capătul din stînga al arborelui, acesta se deplasează cu 1 mm spre interiorul maşinii ; la capătul din dreapta se constată o deplasare de 3 mm. Rezultă că bucşele celor două lagăre trebuie să fie deplasate spre dreapta cu cîte 1 mm. Pentru aceasta se deşurubează buloanele care fixează poziţia bucşelor. Împingînd pe faţa din stînga a arborelui se deplasează cu 1 mm bucşa lagărului stîng. Astfel, jocul în partea dreaptă va fi egal cu 2 mm şi buloanele lagărului din dreapta pot fi din nou strînse. Ciocănind apoi, prin intermediul unei ţevi, pe faţa bucşei lagărului, se deplasează bucşa spre interiorul maşinii pînă cînd jocul rotorului, în urma unei apăsări pe faţa din dreapta arborelui, va fi egal cu 2 mm. Se poate strînge apoi cu buloane şi bucşa lagărului din stînga.

C. EXPLOATAREA MAŞINILOR ELECTRICE

1. EXPLOATAREA CORECTĂ A MOTOARELOR ELECTRICE DIN PUNCTUL DE VEDERE AL FACTORULUI DE PUTERE

● **Cauzele şi efectele scăderii factorului de putere.** Funcţionarea în gol a motoarelor asincrone sau un reglaj prost al celor sincrone provoacă o scădere importantă a factorului de putere al reţelei.

Pierderile de putere activă în conductoare depind foarte mult de factorul de putere, fiind cu atît mai mari, cu cît acesta este mai mic.

De asemenea, un factor de putere scăzut conduce la creşterea căderilor de tensiune în reţele.

Căderea de tensiune într-o reţea cu rezistenţa totală R şi reactanţa X este :

$$\Delta U = RI\cos\varphi + XI\sin\varphi = \frac{R}{U}UI\cos\varphi + \frac{X}{U}UI\sin\varphi = \frac{R}{U}P + \frac{X}{U}Q.$$

Se vede din aceasta că, cu cît creşte consumul de energie reactivă Q, deci cu cît factorul de putere este mai mic, cresc căderile de tensiune. Cum în cele mai multe cazuri capacitatea de încărcare a unei instalaţii de transport este limitată de valorile admisibile ale căderilor de tensiune, un factor de putere scăzut micşorează capacitatea de încărcare a instalaţiilor.

Cea mai mare parte a puterii reactive absorbite de un motor asincron se consumă pentru magnetizarea întrefierului. Din acest motiv acesta se face cît mai mic. Micşorarea întrefierului este însă limitată de considerente mecanice.

Încărcarea maşinii la sarcini mai mici decît cea nominală conduce de asemenea la scăderea factorului de putere, din cauza creşterii ponderii consumului de putere reactivă în puterea totală absorbită de maşină de la reţea.

În reţelele de mică putere, variaţiile sarcinii produc variaţii ale tensiunii. Aceste variaţii ale tensiunii produc variaţii ale fluxului magnetic din stator, deci ale curentului de magnetizare. În felul acesta, la creşterea tensiunii factorul de putere scade, iar la scăderea tensiunii acesta creşte.

● **Compensarea factorului de putere.** În exploatarea instalaţiilor care cuprind motoare asincrone, trebuie luate măsuri prin care să se compenseze factorul de putere. *Principalele măsuri* pentru compensarea factorului de putere sînt :

— *alegerea corespunzătoare a puterii motoarelor de acţionare*, pentru ca acestea să lucreze cît mai aproape de sarcina lor nominală, unde factorul de putere este maxim. La alegerea motorului trebuie să se ţină seama şi de faptul că folosirea unui motor de putere mai mică în locul unuia de putere mai mare conduce la valori mai mari ale pierderilor, deci trebuie stabilit un compromis favorabil între aceste două condiţii ;

— *reducerea timpului de mers în gol al motoarelor*. De aceea, în cazul motoarelor care funcţionează adeseori în gol, se prevăd limitatoare de mers în gol, care deconectează automat, în funcţie de curentul absorbit de la reţea. Utilizarea limitatoarelor de mers în gol este eficace numai atunci cînd economia realizată este mai mare decît cheltuielile cauzate de faptul că la pornirea motorului pierderile sînt mai mari decît la funcţionarea normală ;

— la motoarele care lucrează temporar cu sarcină redusă, este avantajoasă *folosirea întreruptoarelor stea-triunghi*. Motorul funcţionează în mod normal cu conexiunea triunghi. Dacă sarcina scade se leagă fazele în stea. Tensiunea pe fază scade în acest caz de $\sqrt{3}$ ori, deci, după cum s-a arătat mai sus, creşte factorul de putere.

După efectuarea de reparaţii la motoarele asincrone, trebuie verificate cu atenţie orice modificări care s-au făcut. În special trebuie verificat dacă întrefierul nu a crescut ca urmare a prelucrării rotorului, trebuie verificată simetria acestuia, care poate fi stricată prin uzura lagărelor şi poziţia rotorului în sens axial.

În industrie capătă din ce în ce mai largă întrebuinţare motorul sincron. Acesta are posibilitatea de a funcţiona cu factor de putere unitar

sau chiar capacitiv, permiţînd compensarea factorului de putere în reţea. Pornirea mai dificilă a motorului sincron şi imposibilitatea reglajului vitezei îi limitează însă folosirea.

2. DEFECTELE MAŞINILOR ELECTRICE

În funcţionarea lor, maşinile electrice pot prezenta defecte care fac ca maşina să nu mai funcţioneze în condiţii normale. Mărimile ei funcţionale ca : tensiune la borne, curent indus, curent de excitaţie, turaţie, temperatură etc., pot diferi faţă de mărimile nominale, uneori chiar foarte mult. Datorită faptului că maşinile electrice rotative în timpul funcţionării sînt în continuă mişcare, o parte din defecte sînt generate chiar de acest fapt.

Defectele maşinilor electrice pot avea cauze de natură electrică sau mecanică, în unele cazuri putîndu-se chiar combina. De asemenea defectele sînt specifice tipului de maşină, unele defecte fiind însă comune tuturor tipurilor de maşini electrice.

În cele ce urmează se vor studia principalele defecte întîlnite frecvent în funcţionarea maşinilor electrice, arătîndu-se pe scurt cum se manifestă defectul, cauzele ce îl produc precum şi modul de remediere.

● **Defecte comune ale maşinilor electrice.**

— *Maşina vibrează în timpul funcţionării.* Acest defect se datorează dezechilibrării rotorului, deplasării bobinajului acestuia, fixării insuficient de rigide a portlagărelor sau plăcii de fundaţie. Pentru remediere, sete necesară echilibrarea rotorului, consolidarea bobinajului, a portlagărelor sau plăcii de fundaţie.

— *Lagărele de alunecare se încălzesc excesiv.* În acest caz trebuie verificat debitul de ulei, care poate fi prea mic, calitatea uleiului, sau jocul dintre fusul arborelui şi cuzineţi, care poate fi prea mic.

Încălzirea excesivă a lagărelor de rulare se datorează murdăriei, uzurii pieselor rulmentului sau centrării incorecte a maşinii faţă de maşina sau mecanismul cu care este cuplată.

— *Inelele colectoare sau colectorul se uzează intens şi neuniform.* Cauza poate fi presiunea prea mare a periilor sau calitatea necorespunzătoare a acestora (perii prea dure). Uzura foarte intensă a periilor este provocată de îmbîcsirea colectorului sau a inelelor colectoare cu praf de perie sau pulbere de metal, de repartiţia neuniformă între perii a curentului, din cauza presiunilor inegale, sau de calitatea necorespunzătoare a periilor (perii prea moi).

— *Străpungerile izolaţiei* se datoresc pătrunderii prafului în maşină, umezirii bobinajelor în urma transportului, depozitării sau nefuncţionării maşinii vreme îndelungată, sau îmbătrînirii izolaţiei. În primul caz, se curăţă maşina cu un jet de aer comprimat. În al doilea caz, este necesară uscarea maşinii.

● **Defectele maşinilor electrice de curent continuu.**

— *Maşina funcţionînd ca generator nu se excită.* Cauzele pot fi : dispariţia magnetismului remanent, în care caz maşina se magnetizează utilizînd o sursă auxiliară de curent continuu, amplasarea incorectă a periilor,

întreruperea bobinajului rotorului, sensul incorect de rotație a mașinii sau conectarea inversă a înfășurării de excitație-derivație.

— *Tensiunea la bornele generatorului este prea mică.* Aceasta se poate datora conectării greșite a unora din bobinele polilor, unui scurtcircuit în bobinajul de excitație, montării defectuoase a periilor.

— *Tensiunea la mers în gol este normală, însă scade foarte mult în sarcină.* Cauza poate fi conectarea inversă a bobinajului serie la mașinile cu execuție mixtă sau polaritatea greșită a polilor auxiliari.

— *Mașina, funcționînd ca motor, nu pornește.* În acest caz, trebuie verificată continuitatea înfășurării rotorice și a reostatului de pornire.

— *Turația prea mică a motorului la tensiunea nominală* poate fi cauzată de deplasarea periilor față de axa neutră în sensul de rotație a motorului. *Turația mai mare decît cea nominală* poate fi cauzată de deplasarea periilor în sens contrar sensului de rotație a motorului, sau de scurtcircuitarea cîtorva spire în bobinajul de excitație. La mașinile cu excitație mixtă adițională trebuie verificat dacă nu cumva cele două bobinaje sînt conectate diferențial.

— *Supraîncălzirea mașinii* se poate datora supraîncărcării mașinii, astupării canalelor de ventilație sau sensului incorect de rotație, la mașinile al căror ventilator are palete înclinate. Supraîncălzirea colectorului poate fi cauzată de deformarea sa, de o calitate necorespunzătoare a periilor sau de o presiune prea mare a acestora.

— *Scînteierea periilor* poate avea loc în cazul montării greșite a portperiilor, în cazul presiunii necorespunzătoare a periilor pe colector și în cazul murdăririi colectorului. Succesiunea incorectă a polilor principali și auxiliari poate conduce la apariția cercului de foc la colector.

● **Defectele mașinilor electrice sincrone.**

— *Generatorul, funcționînd în gol, are tensiune numai între două faze.* Cauza poate fi întreruperea unei faze, în cazul conexiuntii stea, sau a două faze, în cazul conexiunii triunghi.

— Dacă *generatorul, funcționînd în gol, are tensiuni inegale între faze,* înseamnă că una sau cîteva bobine statorice sînt montate invers, că există scurtcircuite între spire, între faze, sau o punere la pămînt în două locuri ale înfășurării statorului.

— *Motorul sincorn nu pornește.* Cauza poate fi întreruperea unei faze. În cazul cînd motorul *nu poate ajunge la turația nominală,* trebuie verificat dacă tensiunea nu este prea mică. De asemenea, cauza poate fi sarcina la pornire prea mare, sau existența unei atingeri între spire în bobinajul de excitație.

— *Ieșirea motorului din sincronism* poate avea loc în cazul unui cuplu rezistent prea mare sau din cauza unor deranjamente în rețea.

● **Defectele mașinilor electrice asincrone.**

— *Motorul nu pornește.* În acest caz trebuie verificată existența tensiunii la borne. Dacă există tensiune, înseamnă că există întreruperi în două sau trei faze ale circuitului statoric, sau rotorul este blocat. În cazul cînd o singură fază este întreruptă, se aude un bîzîit puternic. Împingînd rotorul cu mîna, el pornește.

— *Motorul cu rotorul bobinat porneşte cu circuitul rotorului deschis.* În acest caz înseamnă că există un scurtcircuit în rotor.

— *La sarcina nominală, turaţia motorului este mai mică decît cea nominală.* Aceasta poate avea loc atunci cînd tensiunea la bornele motorului este prea scăzută, cînd în circuitul rotoric rămîne o rezistenţă mare, ca urmare a defectării reostatului de pornire, sau cînd bobinajul statorului este conectat în stea în loc de triunghi.

— *Supraîncălzirea bobinajului* poate fi cauzată de tensiunea prea mică la borne, în care caz motorul va absorbi, la puterea nominală, un curent mai mare, de scurtcircuit între faze sau spire, sau de conectare a statorului în triunghi în loc de stea.

— *Supraîncălzirea miezului de fier statoric* poate fi produsă de o valoare prea mare a tensiunii la borne sau de scurtcircuitatea tolelor.

CAPITOLUL IV

CONVERTIZOARE ROTATIVE

Multe ramuri industriale, dintre care unele deosebit de importante au nevoie de energie electrică sub formă de curent continuu : pentru producerea anumitor materiale prin electroliză, în metalurgie, pentru transportul urban și feroviar etc. Deoarece în mod obișnuit producerea, transportul și distribuția energiei electrice se fac în curent trifazat, pentru obținerea curentului continuu se folosesc redresoare sau convertizoare rotative, sau simultan amîndouă aceste mijloace.

În alte cazuri este necesară convertirea curentului alternativ trifazat în curent alternativ cu alte caracteristici.

Producția de convertizoare rotative, în special convertizoare pentru sudură, este realizată la „Uzina de mașini electrice“ — București și se remarcă prin performanțe superioare.

Capitolul de față se ocupă cu convertizoarele rotative, cuprinzînd grupul motor-generator și comutatricea.

A. GRUPUL MOTOR-GENERATOR

1. GENERALITĂȚI

Convertizorul de tip motor-generator se compune din două mașini, de obicei cuplate direct, dintre care una funcționează ca motor, iar cealaltă ca generator care produce energie sub forma necesară.

Cele două mașini sînt independente din punct de vedere electric iar puterea fiecăreia, neglijînd pierderile, este egală cu puterea care se cere. Deci pentru o anumită utilizare sînt necesare *două unități de aceeași putere.*

Puterea nominală însumată a ambelor mașini trebuie deci să fie mai mai mare decît dublul puterii nominale cerute. În afară de aceasta, randamentul grupului este relativ redus, fiind rezultat din produsul randamentelor celor două mașini :

$$\eta = \eta_M \cdot \eta_G$$

Un asemenea agregat ocupă loc mult, este greu și scump și randamentul total este relativ scăzut ; are însă și avantaje, printre care și acela că se poate varia ușor tensiunea părții generatoare.

Convertizorul motor-generator este folosit pentru :

— convertirea curentului alternativ în curent continuu sau invers ;

— convertirea curentului trifazat în monofazat sau în curent trifazat de altă frecvență ;

— convertirea curentului continuu tot în curent continuu, dar de altă tensiune.

2. GRUPUL MOTOR TRIFAZAT — GENERATOR DE CURENT CONTINUU

Agregatele motor trifazat-generator de curent continuu folosesc în general pentru acționare motorul sincron sau motorul asincron.

● **Utilizarea motorului sincron** pentru acționarea unui generator de curent continuu prezintă avantajul funcționării la un factor de putere egal cu 1 și chiar cu posibilitatea prin supraexcitare, a ameliorării factorului de putere al rețelei.

Agregatul are viteză constantă la orice sarcină.

● În cazul **cînd agregatul convertizor este antrenat cu motor asincron,** pornirea se poate face după caz, cu comutator stea-triunghi, cu transformator de pornire sau cu reostat rotoric.

Este bine ca generatorul de curent continuu al agregatului să fie prevăzut cu un bobinaj compound pentru compensarea căderii de tensiune în sarcină, din cauza creșterii alunecării.

3. GRUPUL MOTOR TRIFAZAT — GENERATOR MONOFAZAT SAU GENERATOR TRIFAZAT DE ALTĂ FRECVENȚĂ

Primul tip servește de obicei pentru alimentarea în curent monofazat a liniilor de tracțiune electrică, din stațiile alimentate de la o rețea trifazată.

Ambele tipuri servesc de obicei și drept convertizoare de frecvență, deoarece la tracțiunea monofazată se folosește adesea o frecvență mai mică de 50 Hz.

● **Dacă frecvența debitată trebuie să fie fixă** sau dacă se cere ameliorarea factorului de putere în rețeaua de alimentare a agregatului, atunci motorul folosit este de tip sincron, deci *agregatul* este *constituit din două mașini sincrone.*

Dacă nu se cere o precizie mare a frecvenței, se întrebuințează pentru antrenare un motor asincron, deci *agregatul* este *compus dintr-o mașină asincronă și alta sincronă.*

Pentru obținerea unor anumite frecvențe, se poate folosi un *grup motor-generator format din două mașini asincrone.*

Asemenea convertizoare de frecvență se întrebuințează pentru unele mașini unelte, care trebuie să funcționeze la viteze mult mai mari ca 3 000 rot/min și deci necesită o frecvență mai mare ca 50 Hz, de exemplu : mașini pentru prelucrat lemnul, mașini în industria textilă, centrifuge etc.

Exemplu. În industria lemnului se folosește uneori un convertizor de frecvență pentru 250 Hz, constînd din două mașini asincrone în carcasă comună. Prima mașină este un motor asincron cu rotorul în scurtcircuit alimentat din rețeaua de 50 Hz. Cealaltă mașină este un motor asincron cu rotorul cu inele servind ca generator. Alimentarea statorului acesteia se face tot cu tensiunea rețelei de 50 Hz, însă două faze sînt inversate față de prima mașină. Frecvența convertită se culege de la inelele colectoare ale generatorului și are valoarea :

$$f_2 = f_1 + \frac{pn}{60},$$

în care : f_1 este frecvența rețelei care alimentează ambele mașini ;
f_2 — frecvența generatorului ;
n — numărul de perechi de poli ai generatorului ;
p — turația comună a agregatului.

Dacă se bobinează motorul cu 2 poli și generatorul cu 8 poli, se obține frecvența de 250 Hz.

Pentru frecvențe mai mari, acest montaj nu se poate aplica din motive constructive și se trece în folosirea agregatului cu generator sincron echipat cu numărul corespunzător de poli.

Cuplarea între mașini se poate face direct sau prin angrenaj de roți dințate, în funcție de raportul frecvențelor.

● Uneori **este necesar un curent de frecvență variabilă ;** în aceste cazuri se pot folosi convertizoare de frecvență compuse dintr-un motor cu viteză reglabilă și o mașină asincronă acționată de acesta.

Statorul mașinii asincrone este alimentat de la rețea cu frecvență normală, iar rotorul este acționat de motorul cu viteză variabilă în același sens sau în sens contrar sensului de rotație al cîmpului învîrtitor al statorului și produce la inelele colectoare o tensiune alternativă, cu frecvența cuprinsă între 0 și 2 f_1 — pentru viteze cuprinse între $+n_s$ și $-n_s$ (n_s fiind viteza cîmpului învîrtitor statoric).

Industria electrotehnică din țara noastră produce un mare număr de convertizoare rotative utilizate pentru sudură în curent continuu, instalații de galvanizare etc. Un exemplu de grup convertizor este și tipul GEA, cu generator de curent continuu de 10 kW și tensiune variabilă, folosită pentru încărcarea bateriilor de acumulatoare, a cărui schemă electrică de conexiune este arătată în figura 4—1.

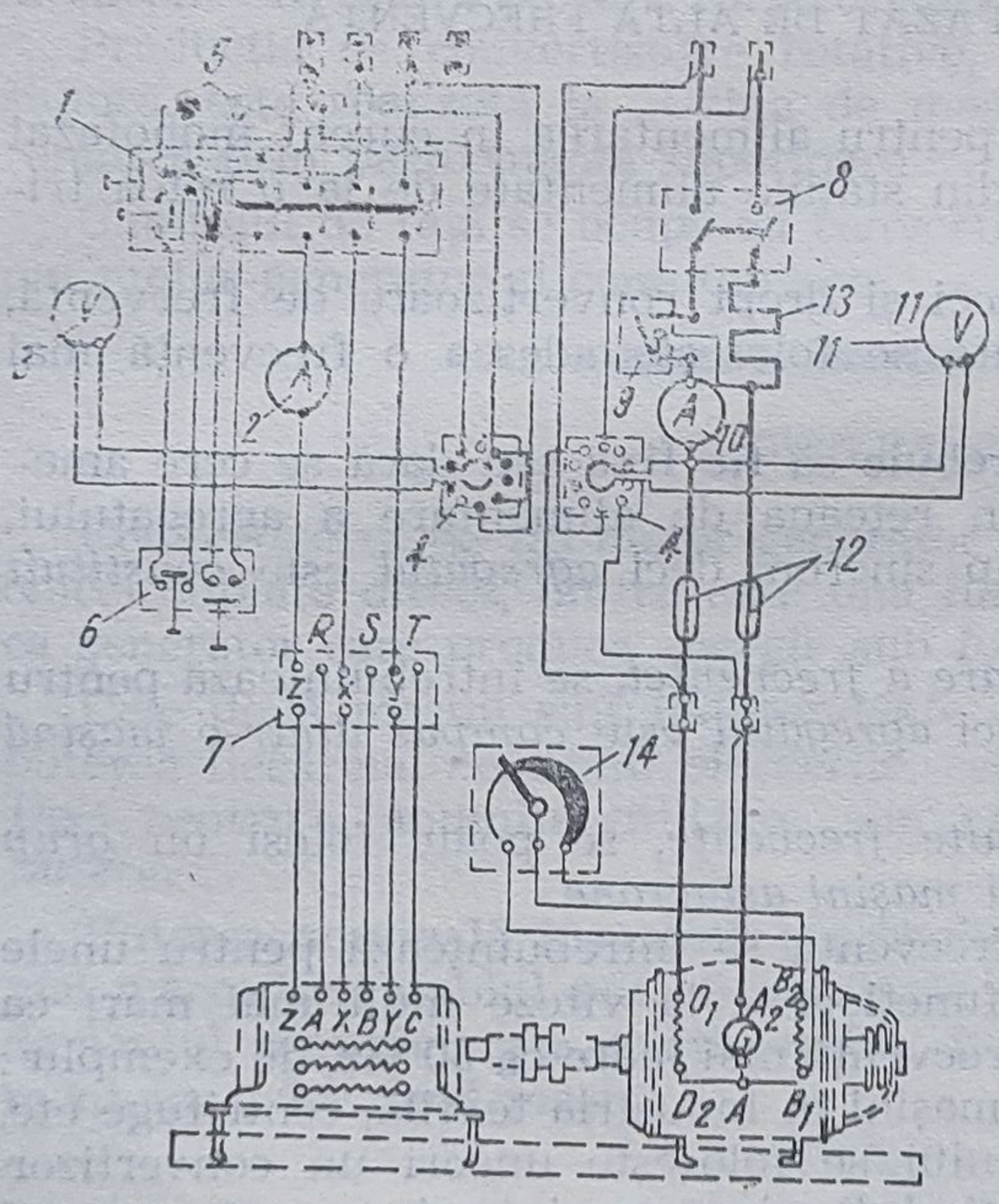


Fig. 4-1. Schema electrică de conexiune a grupului convertizor de 10 kV ; 50—80 V ; 100—160 V ; 200—320 V și a tabloului de comandă :

1 — contact cu relee ; 2 — ampermetru pentru curent alternativ ; 3 — voltmetru ; 4 — comutatoare voltmetrice ; 5 — lămpi ; 6 — butoane de comandă ; 7 — comutator stea-triunghi ; 8 — întreruptor bipolar ; 9 — întreruptor automat de curent invers ; 10 — ampermetru pentru curent continuu ; 11 — voltmetru pentru curent continuu ; 12 — siguranțe fuzibile ; 13 — rezistență fixă de încărcare, din fontă ; 14 — reostat de excitație pentru generator.

4. GRUPUL MOTOR DE CURENT CONTINUU — GENERATOR DE CURENT CONTINUU

Aceste agregate sînt folosite ori de cîte ori este necesar a micșora, mări sau a face reglabilă tensiunea unei surse de curent continuu. Se poate ca

întreaga putere a sursei sau numai o parte a ei să fie supusă acestei convertiri, în agregate de mărime corespunzătoare.

Pentru a transforma o tensiune de curent continuu tot în tensiune de curent continuu dar de altă valoare, relativ apropiată, se pot folosi agregate compuse din două maşini în serie, dintre care una este pentru tensiunea mai mică, iar cealaltă — pentru diferenţa de tensiuni.

B. COMUTATRICEA

Comutatricea, numită şi maşina comutatoare, sau comutatoarea, este un convertizor rotativ cu un singur indus, în care motorul şi generatorul sînt reunite într-o singură maşină.

Maşina comutatoare este, din punct de vedere constructiv, o maşină de curent continuu, prevăzută cu inele de contact pe partea opusă colectorului. Dacă se aduce curent alternativ pe partea inelelor, comutatoarea va funcţiona pe această parte cu motor sincron, iar pe partea cealaltă ca generator de curent continuu.

Principiul de funcţionare. Comutatoarea are polii ficşi, situaţi pe stator (ca o maşină sincronă inversă). Indusul are un bobinaj cu un anumit număr de faze legate la tot atîtea inele (comutatoarea monofazată are însă două inele) pe o parte şi la un colector de cealaltă parte.

Polii fiind ficşi, fluxul inductor este fix. Pentru ca maşina să poată funcţiona, fluxul indusului trebuie să fie şi el fix în spaţiu. Înseamnă că indusul trebuie să se rotească cu viteză sincronă în sens contrar rotaţiei fluxului propriu, astfel încît acesta să fie fix faţă de stator.

După cum se ştie, în indusul maşinii de curent continuu se induce o tensiune electromotoare de frecvenţă $f = \frac{pn}{60}$ care este redresată prin intermediul colectorului. Cum în indusul comutatoarei se introduce curent alternativ de frecvenţă f, iar comutatoarea se roteşte cu viteză sincronă $n = \frac{60f}{n}$ în sensul arătat mai sus, la periile colectorului se culege o tensiune continuă.

Schema electrică de principiu a maşinii comutatoare este arătată în figura 4-2.

Faţă de un grup convertizor motor-generator, comutarea prezintă o serie de *avantaje* : ocupă spaţiu cu 50—60% mai redus, este cu 30—40% mai uşoară şi are un randament bun, de ordinul 93—94% (incluzînd şi transformatorul).

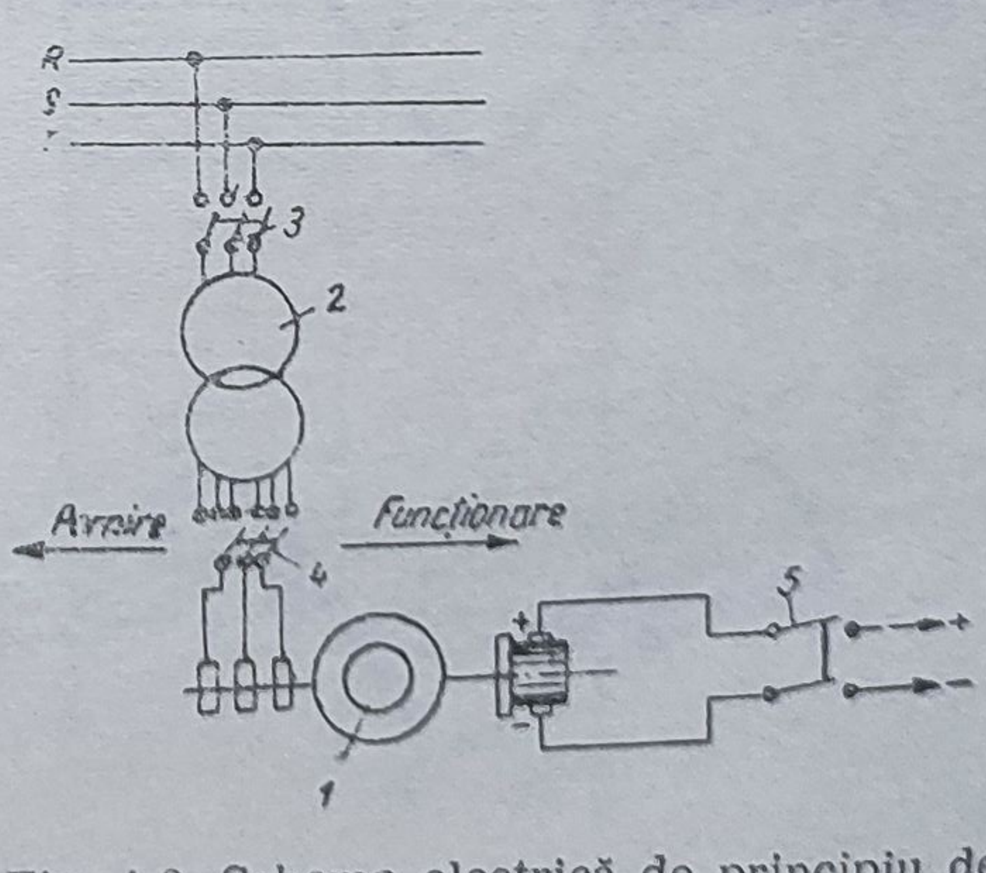


Fig. 4-2. Schema electrică de principiu de conexiuni a maşinii comutatoare :

1 — maşină comutatoare trifazată ; 2 — transformator de alimentare ; 3 — întreruptor de reţea ; 4 — comutator de alimentare ; 5 — întreruptorul circuitului de curent continuu.

Dezavantajul său este relația rigidă dintre tensiunile în curent alternativ și în curent continuu. Astfel, dacă este necesară o tensiune $E_c = 220$V, trebuie alimentate inelele cu $E_a = 140$ V, adică trebuie intercalat un transformator, care să coboare tensiunea rețelei.

Pe de altă parte, dezvoltarea redresoarelor statice a făcut ca mașina comutatoare să fie folosită numai în instalații speciale.

Reglajul tensiunii continue se poate face numai prin variația tensiunii alternative de alimentare. Variația acesteia se poate realiza cu : transformatoare în trepte (cu prize), regulatoare de inducție, bobine de reactanță.

Pornirea comutatoarei se face pe oricare parte. Se preferă pornirea în asincron pe partea de curent alternativ.

CAPITOLUL V

REDRESOARE CU SEMICONDUCTOARE

A. PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE ȘI PARAMETRII REDRESOARELOR

Se știe că un circuit electric constituit din conductoare metalice, conduce curentul electric în ambele sensuri, adică conductivitatea circuitului nu depinde de sensul circulației curentului. De aceea, dacă se conectează un circuit de acest fel la o sursă de tensiune alternativă, se va obține în circuit tot un curent alternativ.

Dacă într-un circuit alimentat de la o sursă de tensiune alternativă u_1 (fig. 5-1) se urmărește să se obțină un curent continuu, se poate recurge la folosirea unui comutator mecanic (fig. 5-1, *a*), care închide periodic circuitul numai pentru o anumită alternanță a tensiunii alternative, sau la conectarea unui element redresor (fig. 5-1, *b*) care va lăsa curentul să treacă numai într-un singur sens.

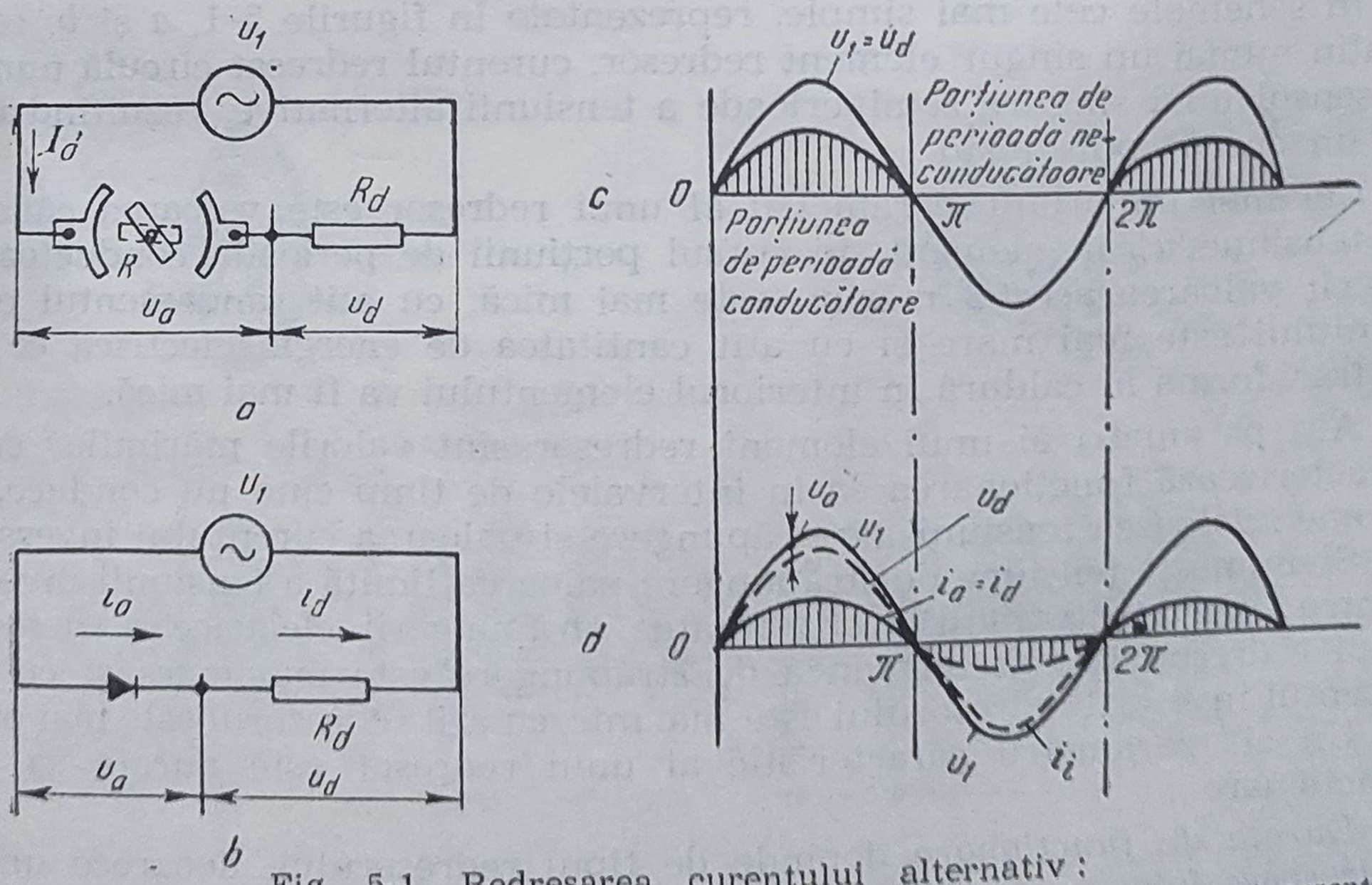


Fig. 5-1. Redresarea curentului alternativ :
a — cu comutator mecanic ; b — cu redresor electric ; c — diagrama tensiunii și curentului pentru un redresor ideal ; d — diagrama tensiunii și curentului pentru un redresor real.

Sensul tensiunii sursei u_1 care coincide cu sensul de conducție, se consideră pozitiv, iar sensul opus, care corespunde lipsei conducției în circuit se consideră negativ.

Dacă se neglijează căderea de tensiune internă a elementului redresor, se ajunge la concluzia că tensiunea sursei u_1, în decursul porțiunii de perioadă conductoare, se aplică în întregime la bornele rezistenței de sarcină. (fig. 5-1, *c*). Dacă se ține seamă de căderea de tensiune internă u_a la bornele elementului redresor (fig. 5-1, *d*), datorată rezistenței proprii R_a a elementului redresor, tensiunea u_d la bornele rezistenței de sarcină pe durata porțiunii de perioadă conductoare, este mai mică decît u_1.

În cursul semiperioadei neconductoare (fig. 5-1, *c*), tensiunea sursei u_1 este aplicată integral elementului redresor. La anumite tipuri de redresoare utilizate în practică, în această semiperioadă poate totuși să treacă un curent foarte mic, i_i. Acest curent se numește *curent invers*, iar tensiunea aplicată elementului redresor în cursul porțiunii de perioadă neconductoare se numește *tensiune inversă* (u_i). Dacă nu există curent invers (fig. 5-1, *c*), tensiunea inversă din momentul dat este însăși semiunda negativă de tensiune a sursei de alimentare, iar în cazul cînd există curent invers i_i, tensiunea inversă u_i de la bornele redresorului este mai mică decît tensiunea sursei u_1 cu mărimea $i_i R_a$ (fig. 5-1, *d*).

Curentul în sensul conducției normale i_a se numește *curent direct*, iar căderea de tensiune provocată de acest curent $u_a = i_a R_a$ se numește *tensiune directă* sau *cădere de tensiune internă*, la bornele elementului redresor.

Curentul continuu care trece prin cirtuitul sarcinii R_d, se numește *curent redresat* și se notează cu i_d. Tensiunea de la bornele sarcinii se numește *tensiune redresată* și se notează cu U_d.

În schemele cele mai simple, reprezentate în figurile 5-1, *a* și *b*, care conțin numai un singur element redresor, curentul redresat circulă numai în sensul unei singure semiperioade a tensiunii alternative, rezultînd astfel un curent pulsatoriu.

Cel mai important parametru al unui redresor este valoarea căderii de tensiune u_a în element, în cursul porțiunii de perioadă conductoare. Cu cît valoarea acestei mărimi este mai mică, cu atît randamentul elementului este mai mare și cu atît cantitatea de energie electrică ce se va transforma în căldură în interiorul elementului va fi mai mică.

Alți parametri ai unui element redresor sînt valorile mărimilor care caracterizează funcționarea sa în intervalele de timp cînd nu conduce, și anume : valoarea tensiunii de străpungere și valoarea curentului invers i_i.

Se numește tensiune de străpungere valoarea limită a tensiunii inverse pentru care crește mult probabilitatea străpungerii electrice a elementului redresor. Cu cît tensiunea de străpungere este mai mare și cu cît curentul invers al redresorului este mai mic, cu atît redresorul este mai bun.

Un alt parametru caracteristic al unui redresor este durata sa de funcționare.

Durata de funcționare depinde de tipul redresorului, deoarece unele redresoare folosesc materiale ce își pierd caracteristicile în timp sau care se consumă în timpul funcționării.

B. CONSTRUCȚIA REDRESOARELOR CU SEMICONDUCTOARE

Funcționarea redresoarelor uscate se bazează pe proprietatea semiconductoarelor de a permite trecerea curentului electric într-un singur sens.

Redresoarele cu semiconductoare cele mai utilizate sînt cele cu seleniu, cu cuproxid, cu germaniu și siliciu. Redresoarele cu cuproxid și cele cu seleniu sînt cunoscute și sub denumirea de redresoare cu plăci.

1. REDRESORUL CU CUPROXID

Elementul redresor cu cuproxid. Redresoarele cu cuproxid sînt formate dintr-unul sau mai multe elemente redresoare. Un element redresor este format dintr-o placă sau disc de cupru, acoperit pe cale termică cu oxid de cupru (protoxid de cupru Cu_2O).

Un element de acest fel are proprietăți de redresor, sensul de conductivitate fiind de la oxidul de cupru (care în redresor are rolul de anod) spre cupru (care are roul de catod).

Între stratul de cupru și cel de protoxid de cupru ia naștere stratul de blocare.

Ansamblarea coloanelor de discuri se face pe o tijă izolantă (fig. 5-2), pe care se fixează alternativ discurile și șaibele de distanțare pentru crearea unor interstiții, care măresc intensitatea procesului de răcire a coloanelor.

În același scop, o serie de tipuri de coloane se fac cu șaibe în formă de radiator, care au o suprafață mai mare de răcire. Curentul se aduce

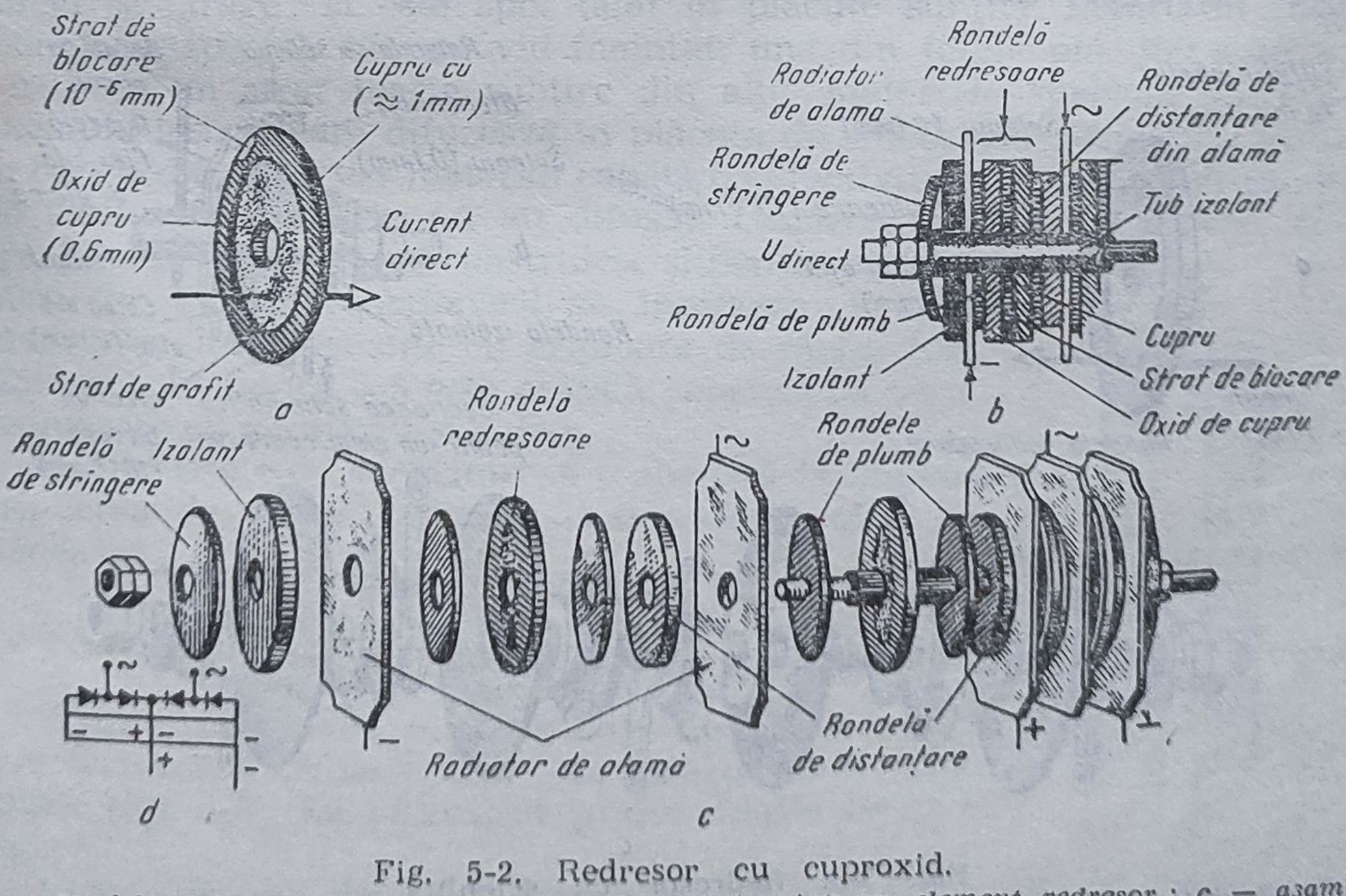


Fig. 5-2. Redresor cu cuproxid.

a — rondele redresoare ; b — secțiune schematică printr-un element redresor ; c — asamblarea unei coloane redresoare după schema punții ; d — schema.

la diferitele secţiuni ale coloanei fie prin şaibele radiatorului, fie prin plăci de contact speciale.

Numărul de elemente dintr-o coloană şi modul de legare a elementelor redresoare între ele depind de curentul şi de tensiunea pentru care este calculată coloana şi de schema de conexiuni aleasă.

2. REDRESORUL CU SELENIU

● **Elementul redresorului cu seleniu** îl constituie un disc de fier sau uneori de aluminiu, peste care se depune un strat de seleniu ; peste stratul de seleniu se depune un strat dintr-un metal care se topeşte la temperaturi joase (aliaje de staniu şi cadmiu). În timpul prelucrării, în seleniu se crează două straturi cu conductibilitate diferită ; placa de fier are rolul de anod, iar stratul de aliaj are rolul de catod.

Contactul exterior cu aliajul catodic se realizează cu ajutorul unor şaibe arcuitoare de alamă, care se aplică peste catod la asamblarea coloanelor (fig. 5-3). Şaibele arcuitoare sînt necesare deoarece în cazul exercitării unei presiuni considerabile asupra seleniului, stratul de blocare este strivit şi se strică, iar proprietăţile de redresare dispar.

● **Asamblarea elementelor redresoare** se face ca în figura 5—3, c. Elementele separate se aşază pe o vergea comună izolată. Între elemente se interpun şaibe de contact sau de izolaţie, precum şi şaibe de distanţare, pentru a se obţine canale care măresc eficacitatea răcirii.

● **Formarea redresoarelor.** Înainte de darea în exploatare sau după o păstrare îndelungată, redresoarele cu seleniu trebuie „formate". Înainte

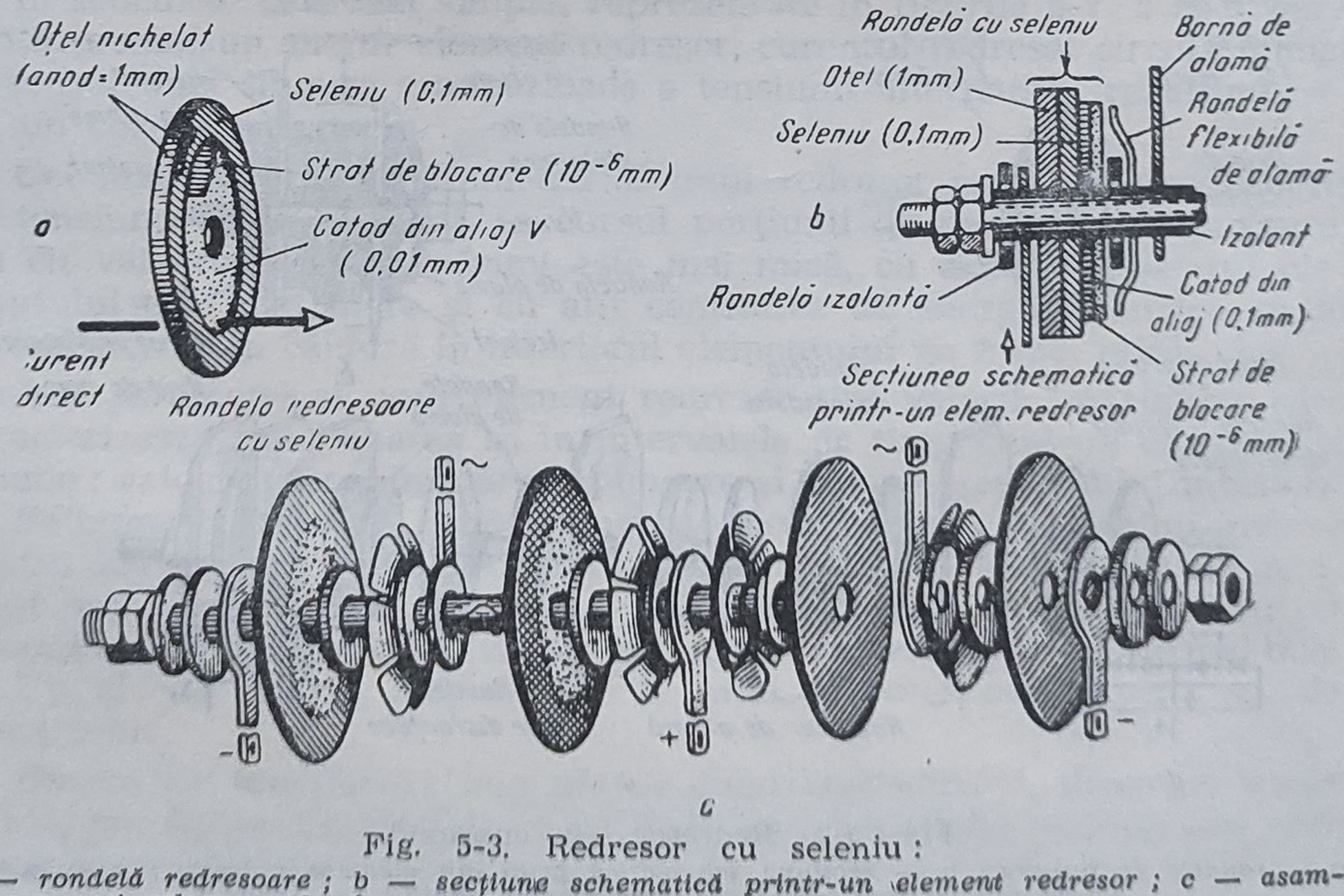


Fig. 5-3. Redresor cu seleniu :
a — rondelă redresoare ; b — secţiune schematică printr-un element redresor ; c — asamblarea unei coloane redresoare după o schemă în puncte.

de formare proprietățile de redresare sînt slabe, rezistențele în sens direct și invers fiind apropiate ca valoare.

Formarea se realizează prin trecerea unor curenți considerabili în sensul neconductor. Redresoarele se formează cu curent continuu sau, mai bine, cu curentul redresat obținut prin redresarea unei singure alternanțe. În cursul formării, care poate dura de la o jumătate de oră pînă la cîteva ore, se lasă să treacă, la început în sensul neconductor, un curent aproximativ egal cu curentul direct pentru care este construit redresorul, iar după aceea curentul se scade treptat.

Redresoarele cu seleniu se realizează într-o secție specializată a uzinei „Electromagnetica"-București.

3. REDRESOARE CU GERMANIU ȘI SILICIU

Redresoarele cu germaniu și siliciu sînt tipurile cele mai noi de redresoare cu semiconductoare.

Un astfel de redresor, reprezentat schematic în figura 5-4 este alcătuit astfel :

O sîrmă de wolfram *5* atinge cu unul din capetele sale un cristal de germaniu *6*.

Germaniul este combinat pentru mărirea conductivității, cu staniu. Cristalul de germaniu are rolul de catod, iar sîrma de wolfram rolul de anod. Electrozii metalici *7* sînt izolați față de tubul metalic *1* prin izolatoarele *2* și *3*, iar sîrma de wolfram este cufundată în dielectricul plastic *4*. Pentru construirea acestor redresoare, cristalul din germaniu sau siliciu se „trage" și este apoi tăiat în plăcuțe subțiri. Printr-un proces tehnologic special, sub un vid înaintat, una din fețele plăcuței este acoperită cu un strat foarte subțire din alte materiale speciale pure (de exemplu indiu), care difuzează în plăcuța de siliciu sau germaniu. Stratul în care a difuzat acest material capătă conductivitate de semn contrar față de stratul în care ele nu au difuzat. Deoarece aceste redresoare, și în special cele cu siliciu, se construiesc și pentru curenți mari, în timpul funcționării se încălzesc. Pentru răcire ele sînt prevăzute cu aripioare de răcire (radiatoare). În figura 5-5 este arătată construcția unor redresoare cu germaniu și siliciu.

Redresoarele cu germaniu se realizează la „Întreprinderea de piese radio și semiconductoare" — Băneasa.

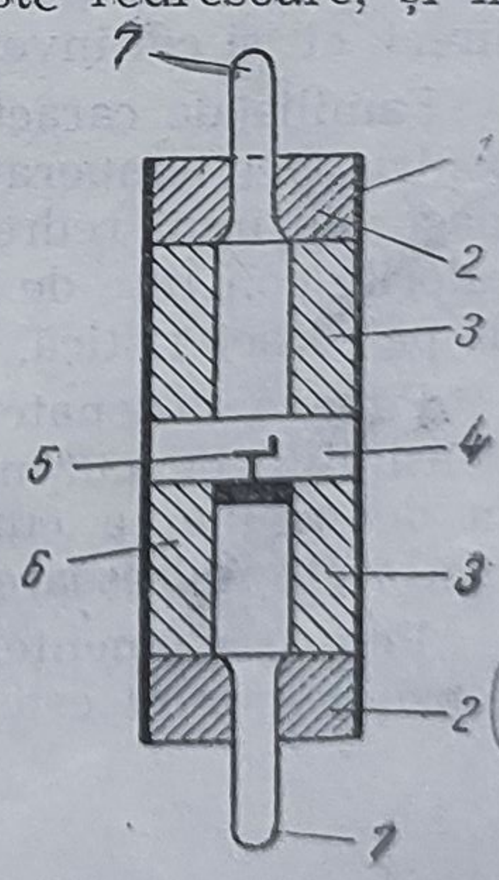


Fig. 5-4. Element redresor cu germaniu.

4. CARACTERISTICA TENSIUNE — CURENT

Pentru redresoare, o importanță deosebită o are *caracteristica tensiune-curent* (sau caracteristica volt-amper (fig. 5-6). Ea reprezintă grafic relația $I=f(U)$ unde :

I este curentul din redresor ;

U — tensiunea aplicată redresorului.

de formare proprietățile de redresare sînt slabe, rezistențele în sens direct și invers fiind apropiate ca valoare.

Formarea se realizează prin trecerea unor curenți considerabili în sensul neconductor. Redresoarele se formează cu curent continuu sau, mai bine, cu curentul redresat obținut prin redresarea unei singure alternanțe. În cursul formării, care poate dura de la o jumătate de oră pînă la cîteva ore, se lasă să treacă, la început în sensul neconductor, un curent aproximativ egal cu curentul direct pentru care este construit redresorul, iar după aceea curentul se scade treptat.

Redresoarele cu seleniu se realizează într-o secție specializată a uzinei „Electromagnetica"-București.

3. REDRESOARE CU GERMANIU ȘI SILICIU

Redresoarele cu germaniu și siliciu sînt tipurile cele mai noi de redresoare cu semiconductoare.

Un astfel de redresor, reprezentat schematic în figura 5-4 este alcătuit astfel :

O sîrmă de wolfram 5 atinge cu unul din capetele sale un cristal de germaniu 6.

Germaniul este combinat pentru mărirea conductivității, cu staniu. Cristalul de germaniu are rolul de catod, iar sîrma de wolfram rolul de anod. Electrozii metalici 7 sînt izolați față de tubul metalic *1* prin izolatoarele *2* și *3*, iar sîrma de wolfram este cufundată în dielectricul plastic *4*. Pentru construirea acestor redresoare, cristalul din germaniu sau siliciu se „trage" și este apoi tăiat în plăcuțe subțiri. Printr-un proces tehnologic special, sub un vid înaintat, una din fețele plăcuței este acoperită cu un strat foarte subțire din alte materiale speciale pure (de exemplu indiu), care difuzează în plăcuța de siliciu sau germaniu. Stratul în care a difuzat acest material capătă conductivitate de semn contrar față de stratul în care ele nu au difuzat. Deoarece aceste redresoare, și în special cele cu siliciu, se construiesc și pentru curenți mari, în timpul funcționării se încălzesc. Pentru răcire ele sînt prevăzute cu aripioare de răcire (radiatoare). În figura 5-5 este arătată construcția unor redresoare cu germaniu și siliciu.

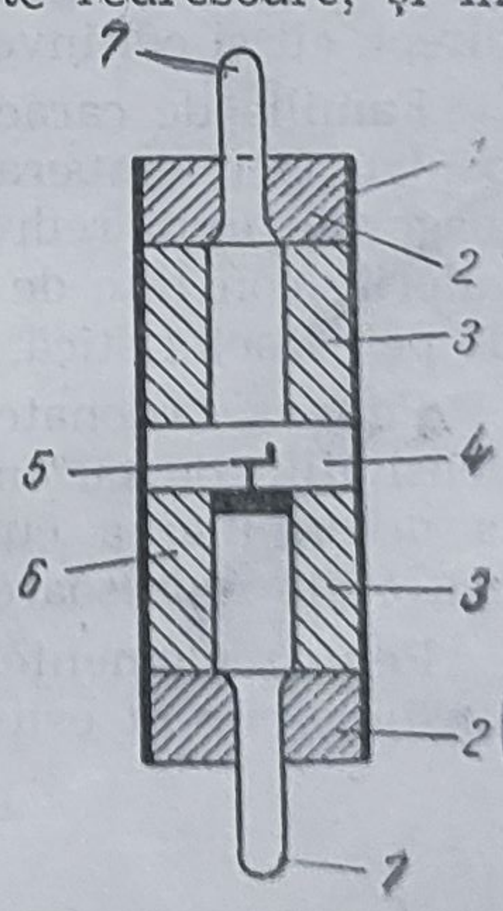


Fig. 5-4. Element redresor cu germaniu.

Redresoarele cu germaniu se realizează la „Întreprinderea de piese radio și semiconductoare" — Băneasa.

4. CARACTERISTICA TENSIUNE — CURENT

Pentru redresoare, o importanță deosebită o are *caracteristica tensiune-curent* (sau caracteristica volt-amper (fig. 5-6). Ea reprezintă grafic relația $I=f(U)$ unde :

I este curentul din redresor ;

U — tensiunea aplicată redresorului.

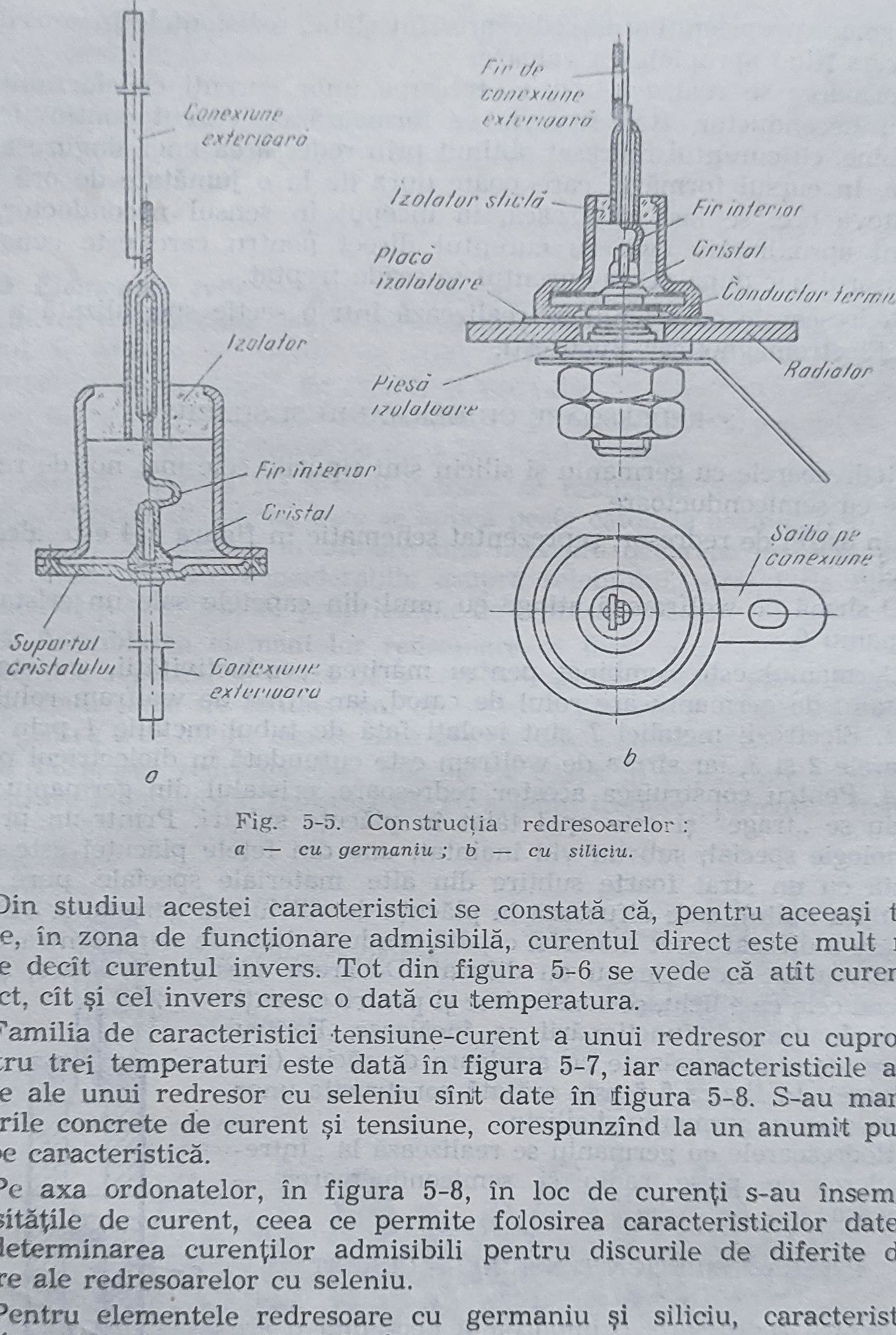


Fig. 5-5. Construcția redresoarelor :
a — cu germaniu ; b — cu siliciu.

Din studiul acestei caracteristici se constată că, pentru aceeași tensiune, în zona de funcționare admisibilă, curentul direct este mult mai mare decît curentul invers. Tot din figura 5-6 se vede că atît curentul direct, cît și cel invers cresc o dată cu temperatura.

Familia de caracteristici tensiune-curent a unui redresor cu cuproxid pentru trei temperaturi este dată în figura 5-7, iar caracteristicile analoage ale unui redresor cu seleniu sînt date în figura 5-8. S-au marcat valorile concrete de curent și tensiune, corespunzînd la un anumit punct de pe caracteristică.

Pe axa ordonatelor, în figura 5-8, în loc de curenți s-au însemnat densitățile de curent, ceea ce permite folosirea caracteristicilor date și la determinarea curenților admisibili pentru discurile de diferite diametre ale redresoarelor cu seleniu.

Pentru elementele redresoare cu germaniu și siliciu, caracteristica tensiune-curent este arătată în figura 5-9.

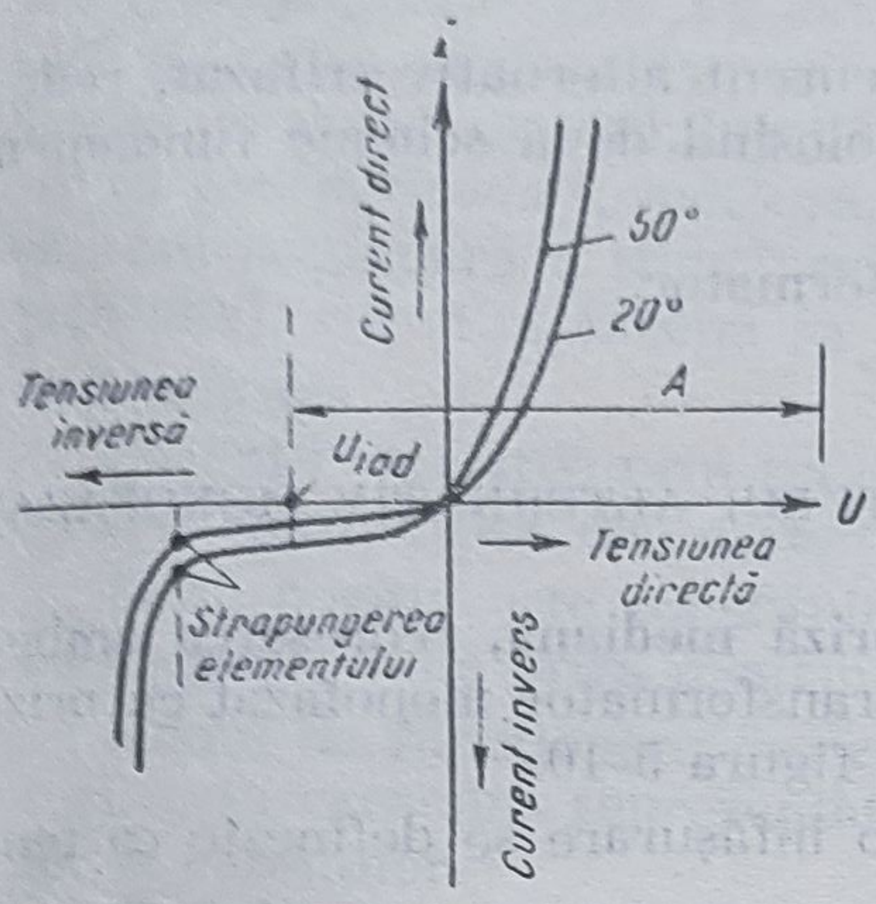


Fig. 5-6. Caracteristica tensiune-curent a unui redresor :
A — *zona admisibilă de funcționare* ; U_{iad} — *tensiunea inversă admisibilă.*

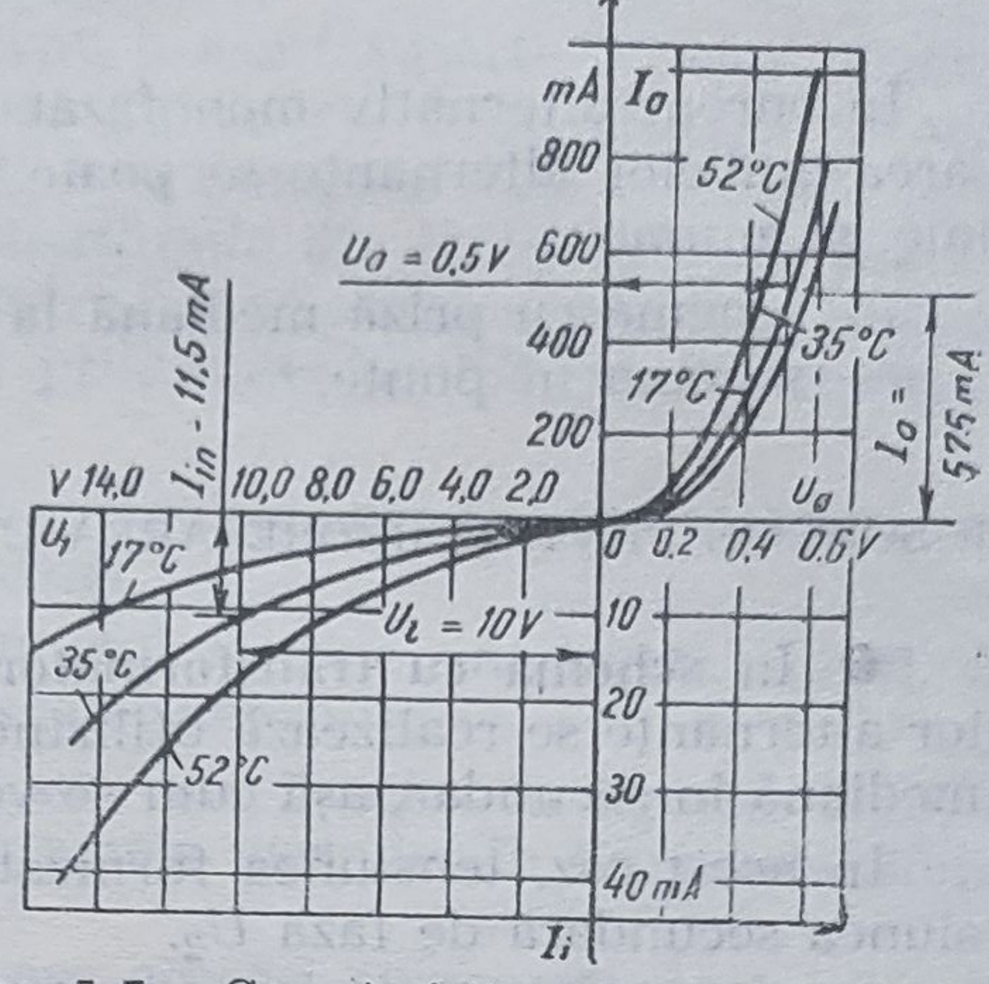


Fig. 5-7. Caracteristica tensiune-curent pentru un redresor cu cuproxid, la diferite temperaturi.

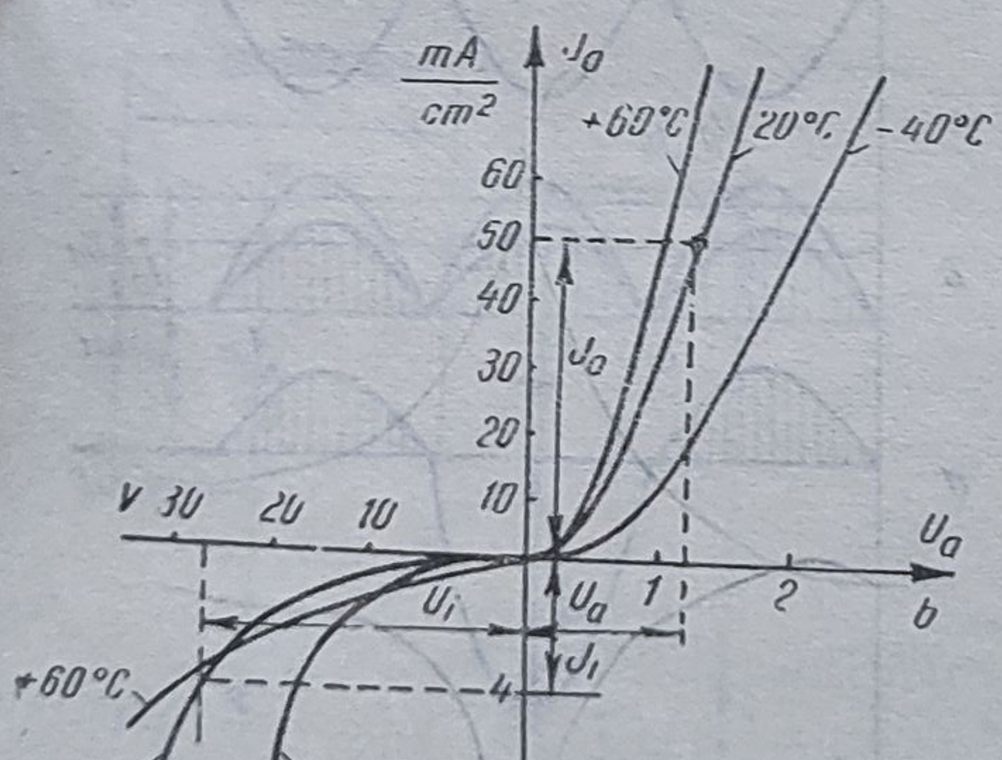


Fig. 5-8. Caracteristica tensiune-curent a unui redresor cu seleniu la diferite temperaturi.

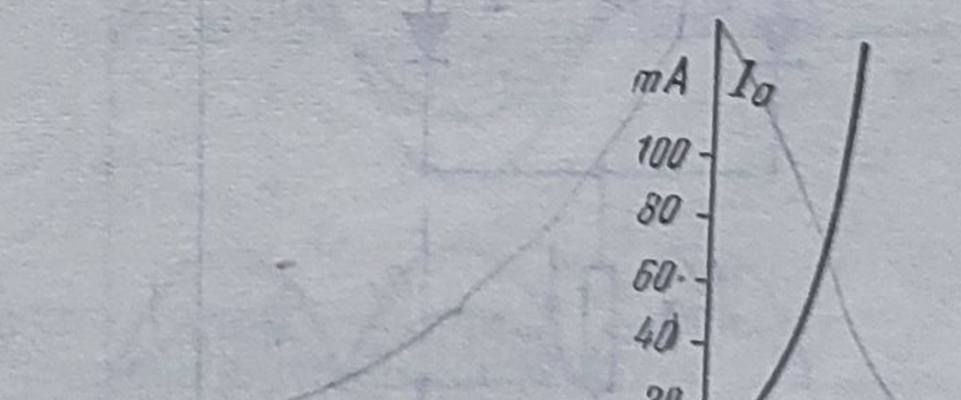


Fig. 5-9. Caracteristica tensiune-curent a unui redresor cu germaniu și siliciu.

C. SCHEME PENTRU REDRESAREA AMBELOR ALTERNANȚE

În curent alternativ monofazat și în curent alternativ trifazat, redresarea ambelor alternanțe se poate face folosind două scheme fundamentale, și anume :

— schema cu priză mediană la transformator,
— schema în punte.

1. SCHEME PENTRU REDRESAREA CURENTULUI ALTERNATIV MONOFAZAT

● **În schema cu transformator cu priză mediană,** redresarea ambelor alternanțe se realizează utilizînd un transformator monofazat cu priză mediană în secundar, așa cum se vede în figura 5-10.

În acest caz, tensiunea furnizată de o înfășurare se definește ca tensiunea secundară de fază U_2.

Luînd în fiecare dintre cele două înfășurări secundare ca pozitiv sensul de la punctul zero spre capetele exterioare *a* și *b*, se observă că tensiunile înfășurărilor secundare se află în opoziție. Într-adevăr, *pentru una din semiperioade*, cînd tensiunea din înfășurarea *Oa* acționează în sens pozitiv, borna *a* este pozitivă față de punctul *O* și prin urmare, și față de catodul redresorului *1*, conectat la punctul *O* prin rezistența de sarcină R_d. În această semiperioadă, curentul trece prin redresorul *1*, care

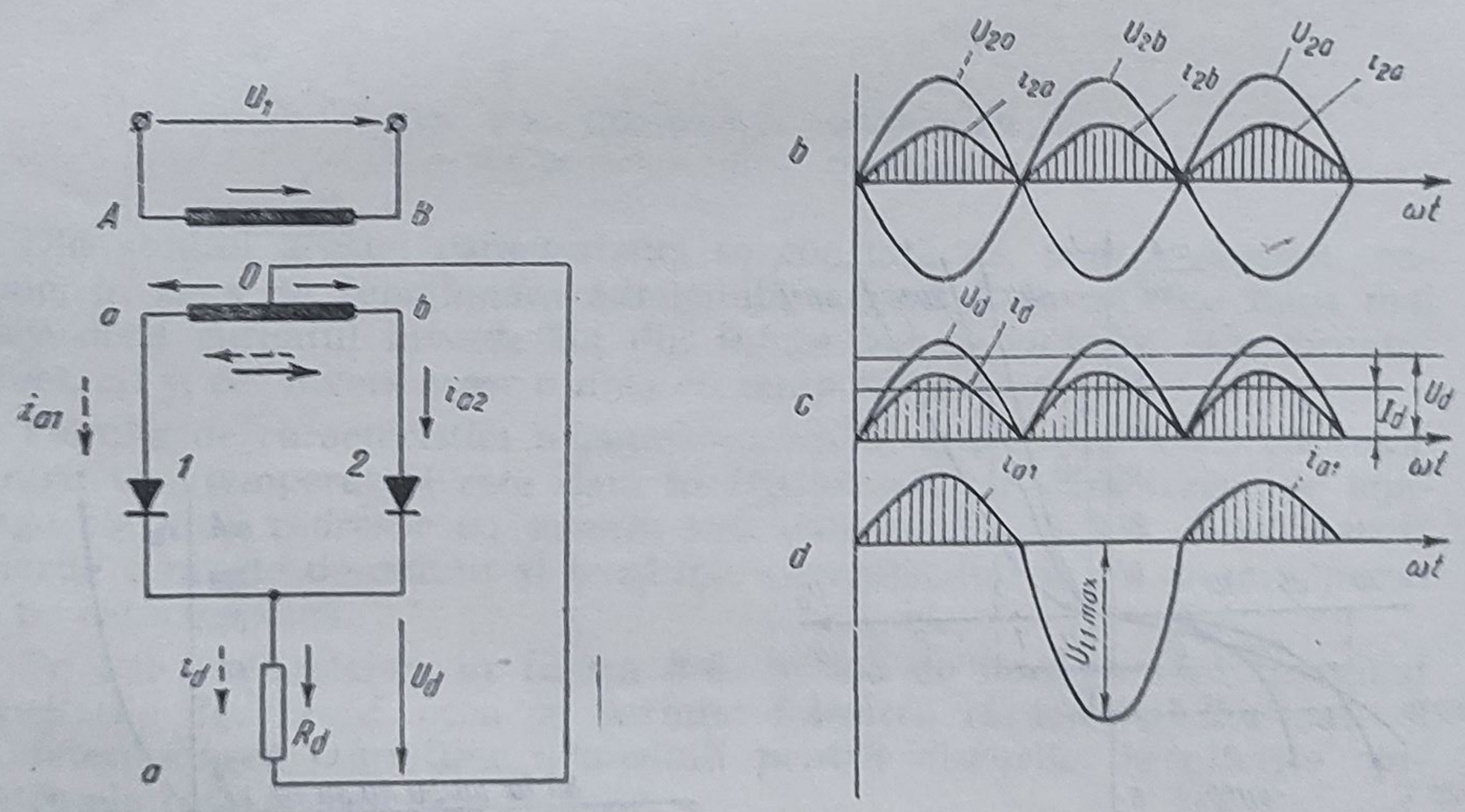


Fig. 5-10. Schemă cu transformator cu priză mediană, pentru redresarea ambelor alternanțe :

a — schema ; b — diagrama curenților și tensiunilor din înfășurarea secundară ; c — diagrama curenților și tensiunilor în sarcină ; d — diagrama curentului și tensiunii inverse.

are anodul pozitiv faţă de catod. Borna *b* a înfăşurării *Ob* este negativă faţă de priza mediană şi, prin urmare redresorul *2* nu lasă curentul să treacă, deoarece anodul, legat la borna *b* este negativ faţă de catod.

În semiperioada următoare, cînd tensiunile din înfăşurarea primară şi din cea secundară a transformatorului îşi inversează sensul (săgeţile nepunctate), curentul începe să treacă prin redresorul *2*, iar redresorul *1* se blochează.

Curenţii care trec prin redresoare au acelaşi sens în rezistenţa de sarcină şi adunîndu-se, dau curentul redresat.

Polul pozitiv este constituit de punctul la care sînt legaţi catozii, iar cel negativ — de priza mediană a transformatorului.

Modul de funcţionare descris mai sus este ilustrat în figurile 5-10, *b*, *c* şi *d*, în care sînt reprezentate diagramele variaţiei în timp a tensiunilor şi curenţilor.

● **Schema monofazată în punte** are aceeaşi structură ca şi o punte de măsurat ; rezistenţele sînt însă înlocuite prin elementele redresoare, aşa cum se vede în figura 5-11.

La una din diagonalele punţii este legată înfăşurarea secundară a transformatorului, iar la cealaltă diagonală se leagă rezistenţa de sarcină R_d. Acest montaj poate fi conectat la reţeaua de curent alternativ chiar şi fără transformator intermediar.

Elementele redresoare se conectează astfel încît într-o semiperioadă să conducă o pereche de redresoare şi curentul să treacă în sensul indicat

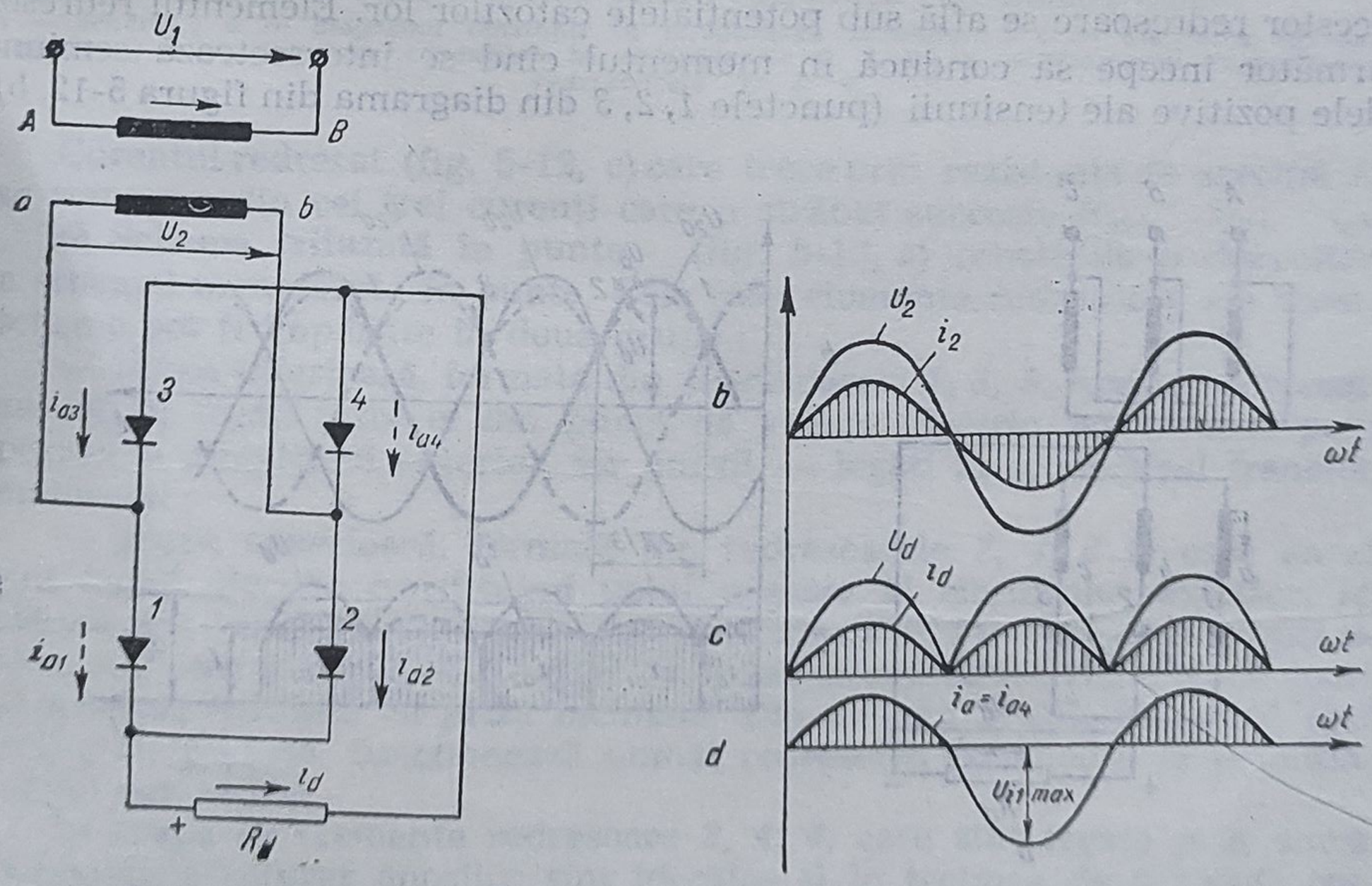


Fig 5-11. Schemă monofazată în punte pentru redresarea ambelor alternanţe : *a — schema ; b — curentul şi tensiunea în înfăşurarea secundară ; c — diagrama curentului şi tensiunii pentru sarcină ; d — diagrama curentului şi tensiunii inverse a redresoarelor 1 şi 4.*

de săgeţile pline, iar în cealaltă semiperioadă curentul să treacă prin cealaltă pereche de redresoare, corespunzător săgeţilor punctate.

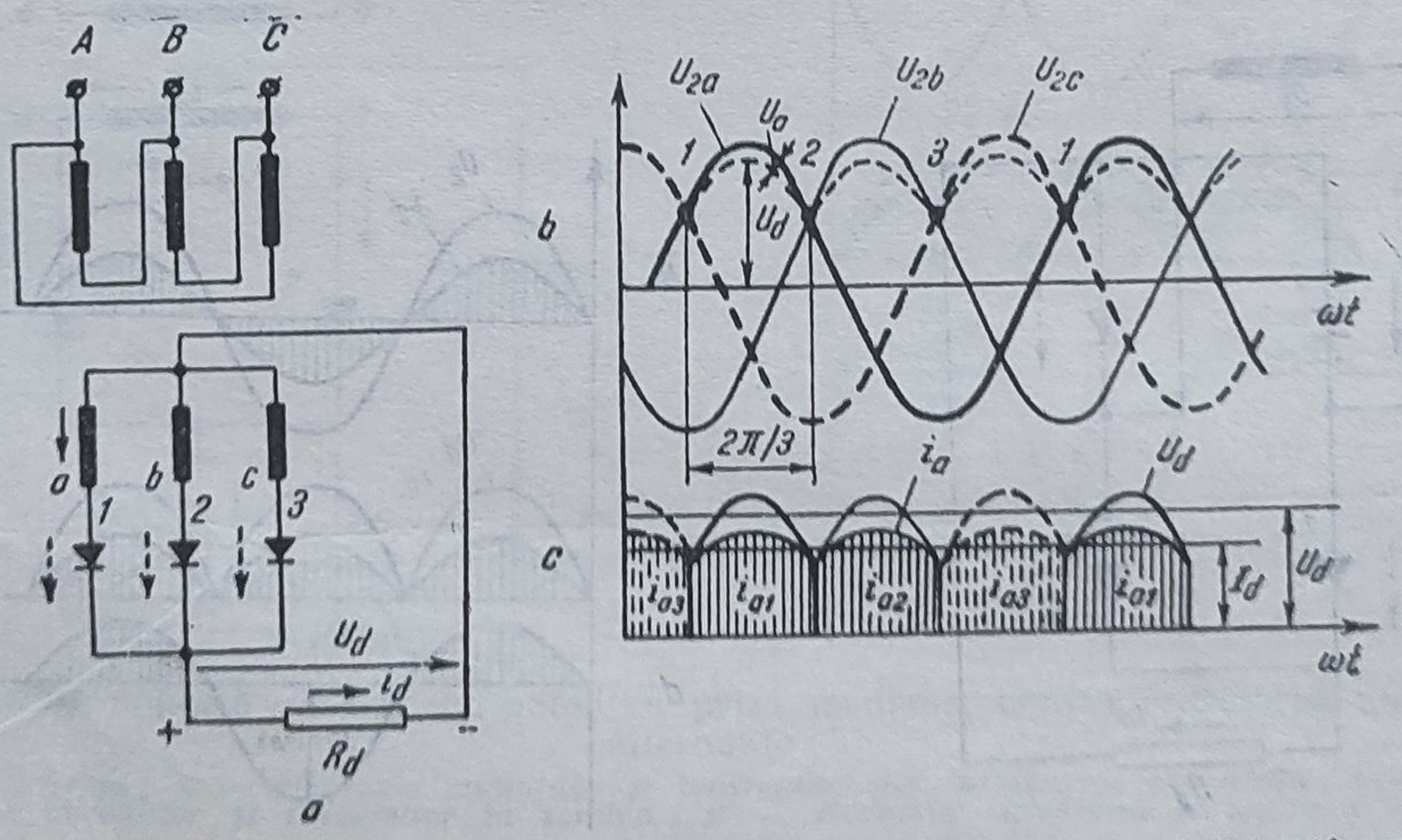
Curentul i_d trece prin sarcină tot timpul în acelaşi sens (figura 5-11, *c*). În înfăşurarea secundară a transformatorului, circulă un curent pur alternativ (fig. 5-11, *b*). În această schemă, polul pozitiv al redresorului este constituit de punctul de legătură al catozilor, iar polul negativ de punctul de legătură al anozilor.

2. SCHEME PENTRU REDRESAREA CURENTULUI ALTERNATIV TRIFAZAT

● **Schema cu priză mediană** (fig. 5-12, *a*) are anozii celor trei redresoare legaţi la trei capete libere ale fazelor înfăşurării secundare. Astfel, succesiv, fiecare redresor lasă să treacă curentul prin circuitul de sarcină. Punctul comun de legătură al catozilor serveşte ca pol pozitiv pentru circuitul de sarcină, iar priza mediană a transformatorului serveşte ca pol negativ.

Funcţionarea schemei este ilustrată de diagramele de tensiune şi de cele de curent din figurile 5-12, *b* şi *c*.

Din diagramele tensiunilor secundare (fig. 5-12, *b*) rezultă că, în cursul unei treimi de perioadă $\left(\text{măsurată prin unghiul } \frac{2\pi}{3}\right)$ tensiunea unei faze este mai mare decît tensiunea celorlalte două faze. În această treime de perioadă curentul trece numai prin elementul redresor legat la faza cu tensiune maximă. Prin celelalte două elemente redresoare nu poate trece curentul în această treime de perioadă, deoarece potenţialele anozilor acestor redresoare se află sub potenţialele catozilor lor. Elementul redresor următor începe să conducă în momentul cînd se intersectează semiundele pozitive ale tensiunii (punctele *1*, *2*, *3* din diagrama din figura 5-12, *b*).



a

b

c

Fig. 5-12. Schemă cu priză mediană pentru redresarea curentului trifazat :
a* — *schemă* ; *b* — *diagrama tensiunii în înfăşurarea secundară şi tensiunii pentru sarcină* ; *c* — *diagrama curenţilor şi tensiunilor redresate.

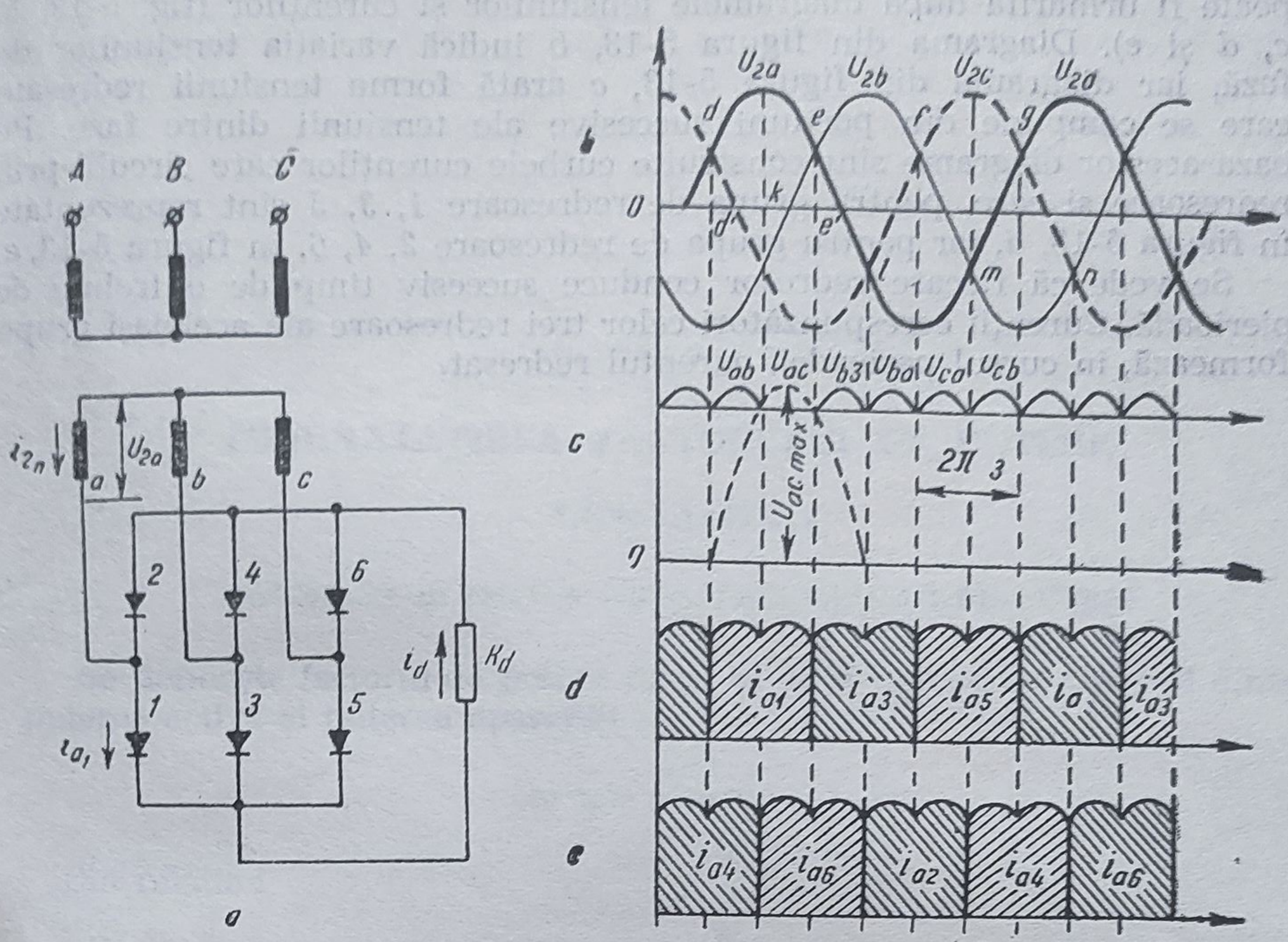


Fig. 5-13. Schemă în punte pentru redresarea curentului trifazat :

a — schemă ; b — diagrama tensiunii în înfăşurarea secundară ; c — diagrama tensiunii redresate ; d — diagrama curenţilor în redresoarele 1, 3, 5 ; e — diagrama curenţilor în redresoarele 2, 4, 6.

Curentul redresat (fig. 5-12, *c*) care trece prin rezistenţa de sarcină R_d se compune din cei trei curenţi care o străbat succesiv (i_{a1}, i_{a3}, i_{a5})

● **Schema trifazată în punte** (fig. 5-13, *a*) constituie o dezvoltare a schemei monofazate în punte. Cele şase elemente redresoare ale acestei scheme pot fi împărţite în două grupe :

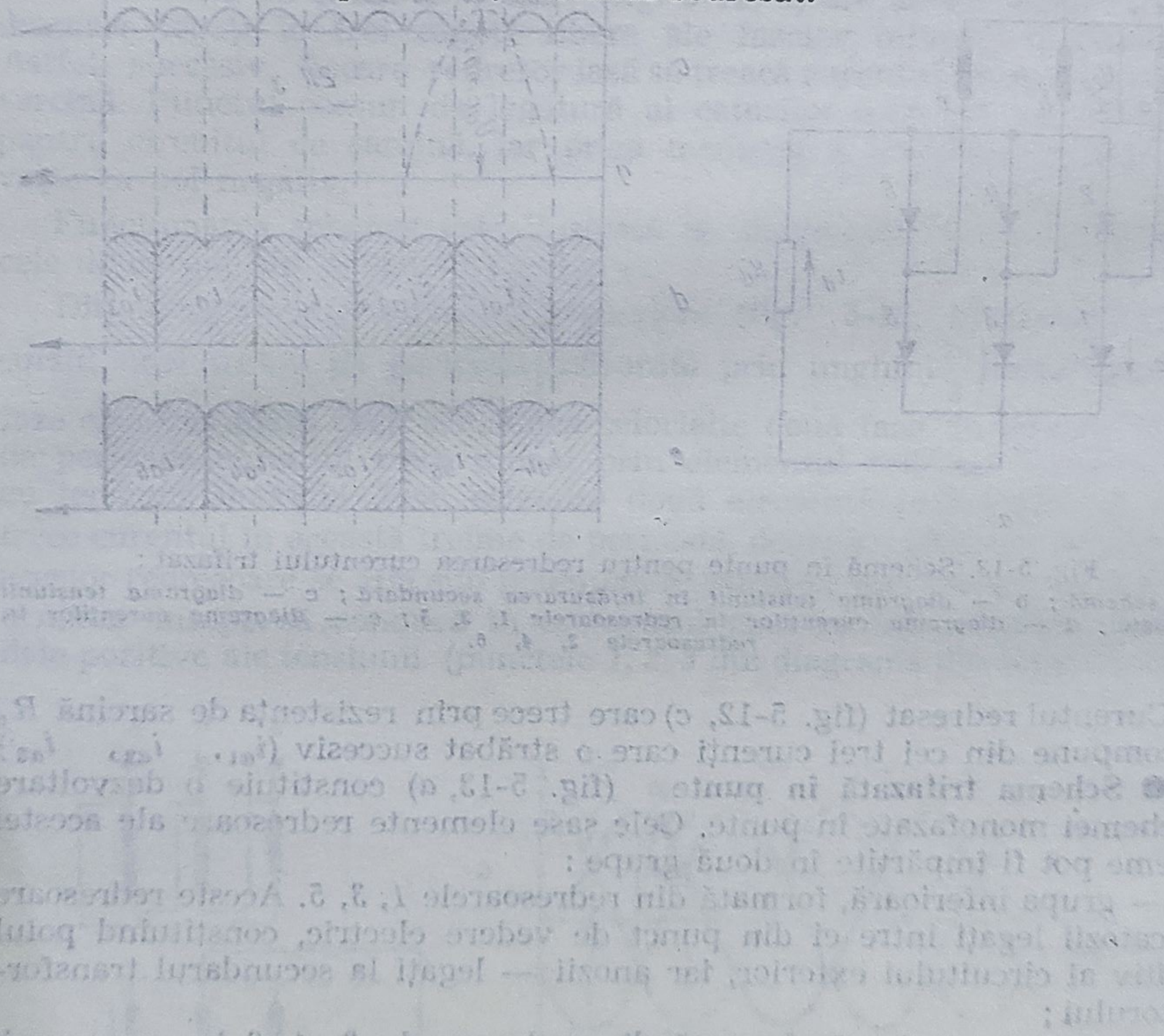
— grupa inferioară, formată din redresoarele *1, 3, 5*. Aceste redresoare au catozii legaţi între ei din punct de vedere electric, constituind polul pozitiv al circuitului exterior, iar anozii — legaţi la secundarul transformatorului ;

— grupa superioară, formată din redresoarele *2, 4, 6* la care anozii sînt legaţi electric constituind polul negativ al circuitului exterior, iar catozii sînt legaţi la secundarul transformatorului. Funcţionarea grupei de elemente redresoare *1, 3, 5* legate prin catozi reproduce regimul de lucru al schemei trifazate cu priza mediană. Din această grupă, în cursul unei treimi de periodă, funcţionează numai redresorul cu anodul la potenţialul cel mai ridicat.

În grupa de elemente redresoare *2, 4, 6*, care sînt legate prin anozi, potenţialele tuturor anozilor sînt identice şi în treimea de perioadă respectivă funcţionează numai redresorul care are catodul cel mai negativ. Astfel, în orice moment, funcţionează două elemente redresoare, unul inferior şi altul superior. Succesiunea funcţionării diferitelor elemente

poate fi urmărită după diagramele tensiunilor și curenților (fig. 5-13, *b*, *c*, *d* și *e*). Diagrama din figura 5-13, *b* indică variația tensiunilor de fază, iar diagrama din figura 5-13, *c* arată forma tensiunii redresate care se compune din porțiuni succesive ale tensiunii dintre faze. Pe baza acestor diagrame sînt construite curbele curenților care circulă prin redresoare și care, pentru grupa de redresoare *1, 3, 5* sînt reprezentate în figura 5-13, *d*, iar pentru grupa de redresoare *2, 4, 6*, în figura 5-13, *e*.

Se vede că fiecare redresor conduce succesiv timp de o treime de perioadă. Curenții corespunzători celor trei redresoare ale aceleiași grupe formează, în cursul perioadei, curentul redresat.



CAPITOLUL VI

ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE

A. GENERALITĂȚI

1. DEFINIREA ȘI IMPORTANȚA FACTORULUI DE PUTERE

Se definește factorul de putere cosφ al unui circuit, ca raportul dintre puterea activă și puterea aparentă :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}.$$

Din relația :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}$$

rezultă că *cu cît puterea reactivă Q este mai mare* față de puterea activă *P*, cu atît unghiul de defazaj φ este mai mare iar cos φ *este mai mic.*

Din relația $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ rezultă :

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}$$

adică, *prin reducerea factorului de putere al unei rețele, puterea aparentă a centralei este mai mare,* deci ea trebuie să fie înzestrată cu mașini și transformatoare de puteri aparente mai mari.

Din relația $P = UI \cos \varphi$ rezultă :

$$I = \frac{P}{U \cos \varphi},$$

deci *pentru o aceeași valoare a puterii active și a tensiunii, micșorarea lui* cos φ *este însoțită de mărirea curentului în conductoare* și prin urmare *de mărirea pierderilor prin încălzire și a căderii de tensiune în conductoarele de alimentare.*

2. ELEMENTELE CE CONDUC LA SCĂDEREA FACTORULUI DE PUTERE

Scăderea factorului de putere la instalațiile electrice se datorește consumului de putere reactivă al anumitor consumatori după cum urmează.

● **Motoarele asincrone.** Dintre consumatorii de putere reactivă din reţelele electrice, cei mai importanţi sînt motoarele asincrone. *Puterea reactivă absorbită* de aceste motoare este determinată de curentul de magnetizare care, procentual, este mult mai mare în cazul motoarelor asincrone decît în cazul transformatoarelor. Acest lucru se explică prin existenţa întrefierului la motoarele electrice (în cazul transformatoarelor, întrefierul este practic inexistent). Din cele de mai sus se poate trage concluzia că pentru mărirea factorului de putere al motoarelor asincrone, este de dorit să se construiască motoare cu întrefierul cît mai mic. Micşorarea întrefierului este însă limitată de considerente mecanice (uzarea lagărelor).

Coeficientul de încărcare influenţează de asemenea într-o măsură foarte mare factorul de putere al motoarelor asincrone.

Coeficientul de încărcare al motoarelor se poate deduce pe baza relaţiei :

$$B_m = \frac{k_c}{k_0}\,\eta_m \cdot \eta_r,$$

unde :

k_0 este coeficientul de simultaneitate, determinat de numărul de motoare care funcţionează simultan ;

B_m — coeficientul de încărcare mediu al motoarelor ;

η_m — randamentul mediu al motoarelor, corespunzător coeficientului de încărcare mediu ;

η_r — randamentul mediu al reţelei ;

k_c — coeficientul de cerere, definit ca raportul dintre puterea maximă P_m cerută de toate receptoarele racordate şi puterea totală instalată ΣP_i a acestor receptoare, respectiv $k_c = \frac{P_m}{\Sigma P_i}$.

Deci, coeficientul de încărcare mediu al motoarelor va fi

$$\beta_m = \frac{P_m}{\Sigma P_i} \cdot \frac{\eta_m \cdot \eta_r}{k_0}.$$

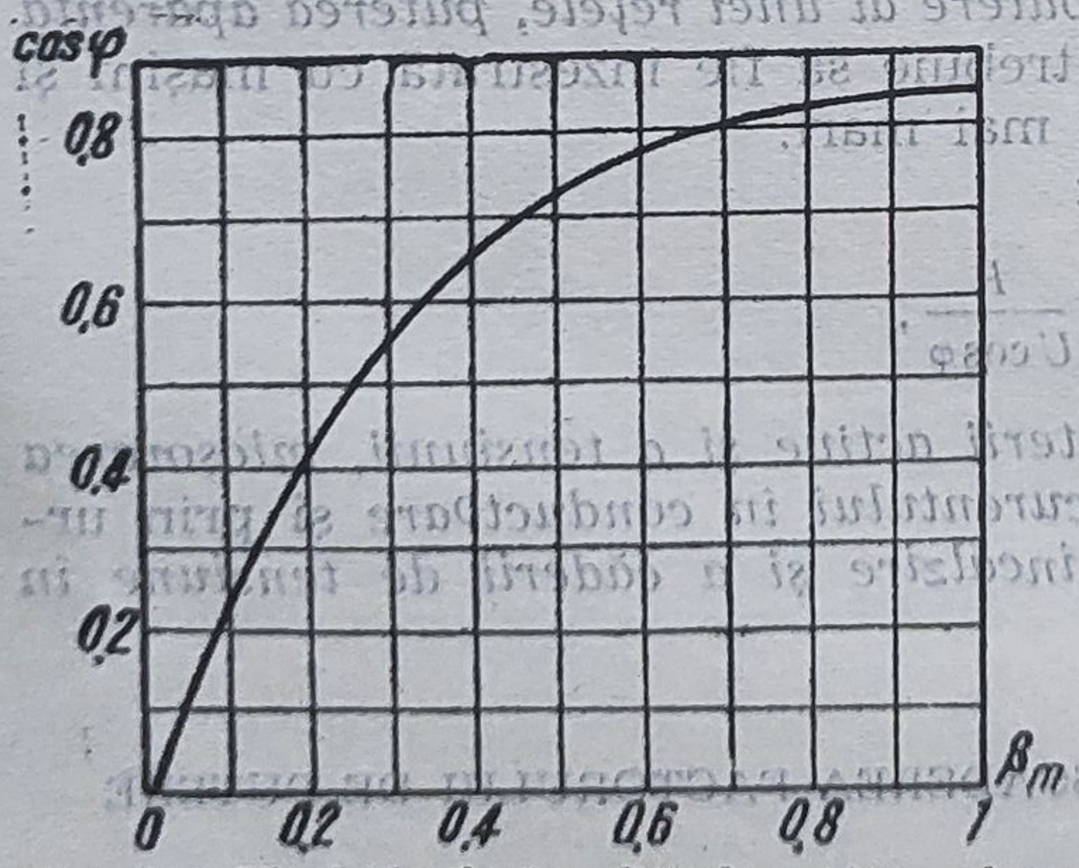


Fig. 6-1. Variaţia factorului de putere al motoarelor asincrone, în funcţie de coeficientul de încărcare.

În diagrama din figura 6-1 este dată variaţia factorului de putere al motoarelor asincrone, în funcţie de coeficientul de încărcare β_m. Se constată că factorul de putere scade foarte mult o dată cu scăderea coeficientului de încărcare.

Variaţia factorului de putere al motoarelor asincrone în funcţie de coeficientul de încărcare are o mare importanţă din punct

de vedere practic, deoarece o parte dintre motoarele folosite în industrie funcţionează cu un coeficient de încărcare redus, cuprins între 0,25 şi 0,50.

Se mai constată de asemenea că pentru o aceeaşi scădere procentuală a coeficientului de încărcare, scăderea factorului de putere este mai mică pentru motoarele care au un factor de putere nominal mai mare.

Factorul de putere al motoarelor asincrone este influenţat şi de caracteristicile constructive ale acestora. Aceasta se explică prin faptul că dimensiunile motorului variază în sens invers cu turaţia, iar la o aceeaşi putere nominală, factorul de putere scade pe măsură ce scade turaţia. Deci, la o turaţie scăzută creşte volumul circuitului magnetic, prin urmare creşte şi curentul de magnetizare corespunzător curentului de mers în gol. Factorul de putere al motoarelor asincrone poate fi însă mărit folosind tole magnetice de bună calitate.

● **Transformatoarele.** Ca şi în cazul motoarelor asincrone, puterea reactivă consumată de transformatoare se datoreşte circuitului magnetic, respectiv curentului de magnetizare corespunzător curentului de mers în gol al transformatorului. La transformatoare, însă, întrefierul este redus la valori practic neglijabile, astfel, încît la fabricaţia acestora calităţile magnetice ale tolelor joacă un rol foarte important.

Şi la transformatoare, gradul de încărcare are o influenţă asupra factorului de putere, curentul de magnetizare reprezentînd procentual o sarcină reactivă cu atît mai mare cu cît încărcarea transformatorului este mai mică, la funcţionarea în gol transformatorul neconsumînd din reţea decît putere reactivă.

● **Liniile aeriene.** Puterea reactivă consumată de liniile electrice se datorează inductanţei lor. Cum aceasta este proporţională cu inductanţa liniei, rezultă că valoarea ei este mai mare în cazul liniilor aeriene, datorită distanţei mari dintre conductoare, spre deosebire de liniile de cablu la care, conductoarele fiind foarte apropiate, puterea reactivă consumată poate fi neglijabilă. Puterea reactivă consumată de liniile electrice variază cu sarcina, fiind proporţională cu pătratul curentului. Pe de altă parte, însă liniile electrice produc o putere reactivă datorită capacităţii lor. Puterea produsă depinde de capacitatea liniei şi de tensiunea ei (proporţională cu pătratul tensiunii nominale). Astfel, ea va fi mai mare în cazul liniilor de cablu, unde conductoarele sînt mai apropiate, precum şi în cazul liniilor de înaltă tensiune.

3. EFECTELE NEGATIVE ALE FACTORULUI DE PUTERE SCĂZUT

Din punct de vedere practic, o valoare redusă a factorului de putere în instalaţiile electrice are consecinţe defavorabile conducînd la mărirea investiţiilor, în cazul instalaţiilor noi, şi la creşterea pierderilor de energie şi a dificultăţilor de exploatare.

Dată fiind importanţa menţinerii unui factor de putere cît mai ridicat, în ţara noastră se execută condensatoare construite special şi care permit gruparea în baterii corespunzătoare necesităţilor locale ale fiecărui consumator mai important. Aceste condensatoare se realizează de către „Fabrica de cabluri şi materiale electroizolante“ (FCME) din Bucureşti.

Principalele efecte negative ale factorului de putere scăzut vor fi analizate în cele ce urmează.

● **Mărirea pierderilor de putere activă.** Se presupune un circuit electric care alimentează un receptor, în care se notează cu R rezistența conductoarelor circuitului, cu U tensiunea de alimentare, cu I curentul și cu $\cos\varphi$ factorul de putere al receptorului. Valoarea pierderilor electrice în conductoarele circuitului este proporțională cu pătratul puterii aparente și este dată de relația :

$$\Delta P_S = RI^2 = \frac{R}{U^2} S^2$$

sau

$$\Delta P_S = \frac{R}{U^2} P^2 \frac{1}{\cos^2\varphi}.$$

Pierderile depind deci *de pătratul factorului de putere.* Astfel, spre exemplu, pentru $\cos\varphi = 0{,}5$ pierderile în rețea sînt de patru ori mai mari decît în cazul ideal cînd $\cos\varphi = 1$.

Dacă din această valoare se scad *pierderile produse de puterea activă :*

$$\Delta P_P = \frac{R}{U^2} P^2,$$

rezultă că *valoarea pierderilor suplimentare corespunzătoare puterii reactive* este dată de relația :

$$\Delta P_Q = \Delta P_S - \Delta P_P = \frac{R}{U^2} P^2 \left(\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1 \right).$$

Se observă că în cazul ideal, cînd $\cos\varphi = 1$, pierderile datorite puterii reactive sînt nule.

În figura 6-2 se dau curbele de variație a pierderilor relative datorite puterii aparente și puterii reactive (raportate la pierderile datorite puterii active), în funcție de valoarea factorului de putere.

Se constată că aceste pierderi sînt cu atît mai mari cu cît factorul de putere este mai mic.

● **Mărirea căderilor de tensiune.** Scăderea factorului de putere din cauza puterii reactive consumate, conduce la o creștere importantă a căderii de tensiune în instalațiile electrice. Acest lucru are ca efect reducerea capacității de încărcare a instalațiilor de transport și distribuiție a energiei electrice.

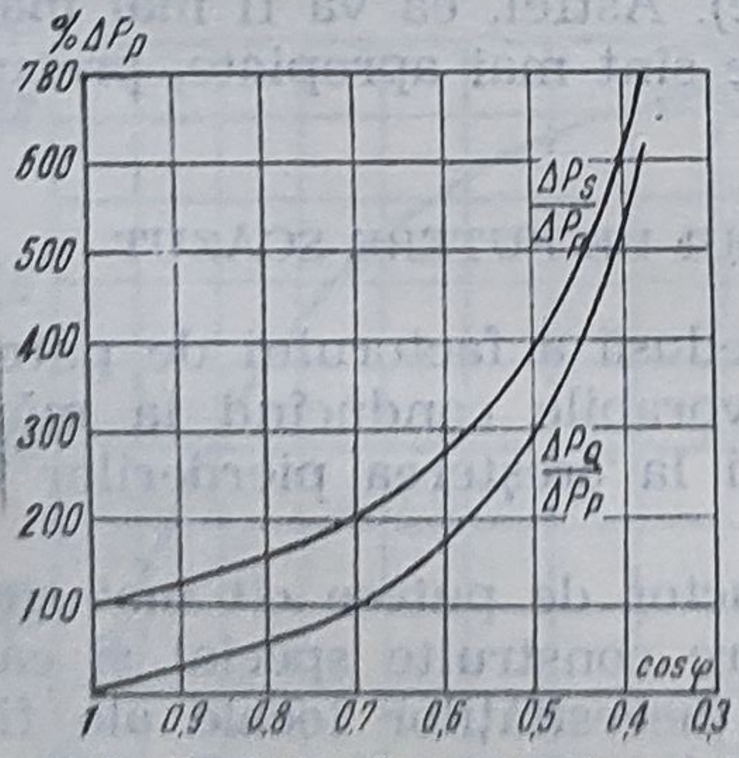


Fig. 6-2. Curbele de variație a pierderilor datorite puterilor reactivă și aparentă, în funcție de factorul de putere.

Deci, pe lîngă pierderile de putere în conductoare, puterea reactivă mai produce și căderi de tensiune suplimentare, independent de cele produse de puterea activă.

În afară de căderea de tensiune produsă de curentul activ (respectiv puterea activă), se mai produce și o cădere de tensiune inductivă, determinată de curentul reactiv (respectiv puterea reactivă).

Avîndu-se în vedere că, în general, reactanțele liniilor, transformatoarelor și generatoarelor au valori mai mari decît rezistențele lor, rezultă că, în cazul cînd valoarea factorului de putere este mai mică decît 0,7—0,8, căderile de tensiune inductive datorite puterii reactive depășesc căderile de tensiune datorite puterii active.

● **Supradimensionarea instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice.** Se știe că toate elementele instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice se dimensionează pentru o putere nominală egală cu puterea lor aparentă, respectiv cu $S=\frac{P}{\cos\varphi}$.

Deci, pentru o anumită putere activă P, *puterea nominală pentru care se dimensionează instalațiile variază în raport invers cu factorul de putere.*

Astfel, pentru un factor de putere $\cos\varphi=0{,}7$, puterea nominală a instalațiilor trebuie mărită cu circa 40% față de aceea care ar corespunde unui factor de putere egal cu unitatea. Acest fapt se restrînge asupra valorii investițiilor pentru instalațiile electrice, care cresc foarte mult. De asemenea, cantitatea de materiale neferoase folosite pentru conductoarele electrice ale generatoarelor, transformatoarelor și liniilor crește în raport invers cu valoarea factorului de putere.

● **Reducerea capacității de încărcare cu putere activă a instalațiilor pentru producerea energiei electrice.** Dimensionarea instalațiilor de producere, transport și distribuție a energiei electrice se face avîndu-se în vedere puterea aparentă S, stabilită pe baza unei puteri active date P și a unui factor de putere $\cos\varphi$ admis.

Dacă în exploatare valoarea factorului de putere este mai mică, rezultă că puterea nominală va corespunde unei puteri active mai reduse. Din această cauză, încărcarea instalațiilor cu puterea activă P pentru care ele au fost prevăzute nu mai este posibilă. Puterea activă cu care ele pot fi încărcate trebuie să fie deci redusă proporțional cu reducerea factorului de putere sub valoarea lui nominală.

Reducerea capacității de încărcare cu putere activă a mașinilor sincrone prezintă o importanță deosebită, deoarece ea se extinde și asupra instalațiilor mecanice aferente generatoarelor.

B. MĂSURI ȘI MIJLOACE PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE

1. MĂSURI PENTRU ÎMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE

În cele ce urmează se va arăta care sînt măsurile cele mai importante pentru îmbunătățirea factorului de putere.

● **Verificarea calității reparațiilor la motoarele electrice.** Calitatea reparațiilor motoarelor asincrone are o mare influență asupra randamentului și asupra factorului de putere. Astfel, o mică modificare a numărului de spire ale bobinajului sau a valorii întrefierului ar putea să determine o scădere a randamentului și în special a factorului de putere.

Din aceste motive, este necesar ca la reparațiile motoarelor asincrone să se evite :

— mărirea întrefierului, prin prelucrarea suprafeței rotorului ;
— apariția unei nesimetrii a întrefierului, provocată de uzarea neuniformă a lagărelor ;
— modificarea numărului de spire la rebobinare.

La ieșirea motoarelor din reparație, acestea trebuie să fie supuse unor încercări de funcționare în gol și în sarcină, în vederea verificării simetriei bobinajului și curentului de magnetizare.

● **Folosirea comutatoarelor stea-triunghi la motoarele electrice care funcționează temporar cu sarcină redusă.** Această măsură constă în modificarea conexiunilor bobinajului statoric, de la conexiunea în triunghi, utilizată la plină sarcină, la conexiunea în stea. În acest fel, tensiunea aplicată pe fază se reduce cu $\sqrt{3}$; în aceeași măsură se reduce fluxul magnetic în motor, realizîndu-se o reducere a curentului de magnetizare, deci și a puterii reactive consumate de motor.

Aceste scăderi ale tensiunii produc variații ale fluxului magnetic din stator, deci și variația curentului de magnetizare, care influențează asupra consumului de putere reactivă.

În diagrama din figura 6-3 sînt reprezentate curbele de variație a factorului de putere în raport cu valoarea nominală, în funcție de tensiune, pentru diferite valori ale coeficientului de încărcare al motorului.

Scăderile de tensiune determină o reducere a puterii reactive, deci o îmbunătățire a factorului de putere, așa cum se poate constata și din curbele reprezentate mai sus. Întrucît însă cuplul-motor variază cu pătratul tensiunii, aceasta se micșorează de trei ori, din care cauză utilizarea acestui mijloc de îmbunătățire a factorului de putere este limitată de condițiile date mai jos :

— *o condiție de pornire*, și anume aceea ca valoarea cuplului rezistent în momentul pornirii să nu depășească valoarea cuplului de pornire redus prin micșorarea tensiunii aplicate. Pentru mașinile care pornesc în gol, această condiție este îndeplinită. Pentru motoarele care pornesc în sarcină, în cazul cînd condiția de pornire nu poate fi respectată, pornirea se face cu conexiunile în triunghi și apoi, după ce a fost atinsă viteza normală, se trece la conexiunea în stea ;

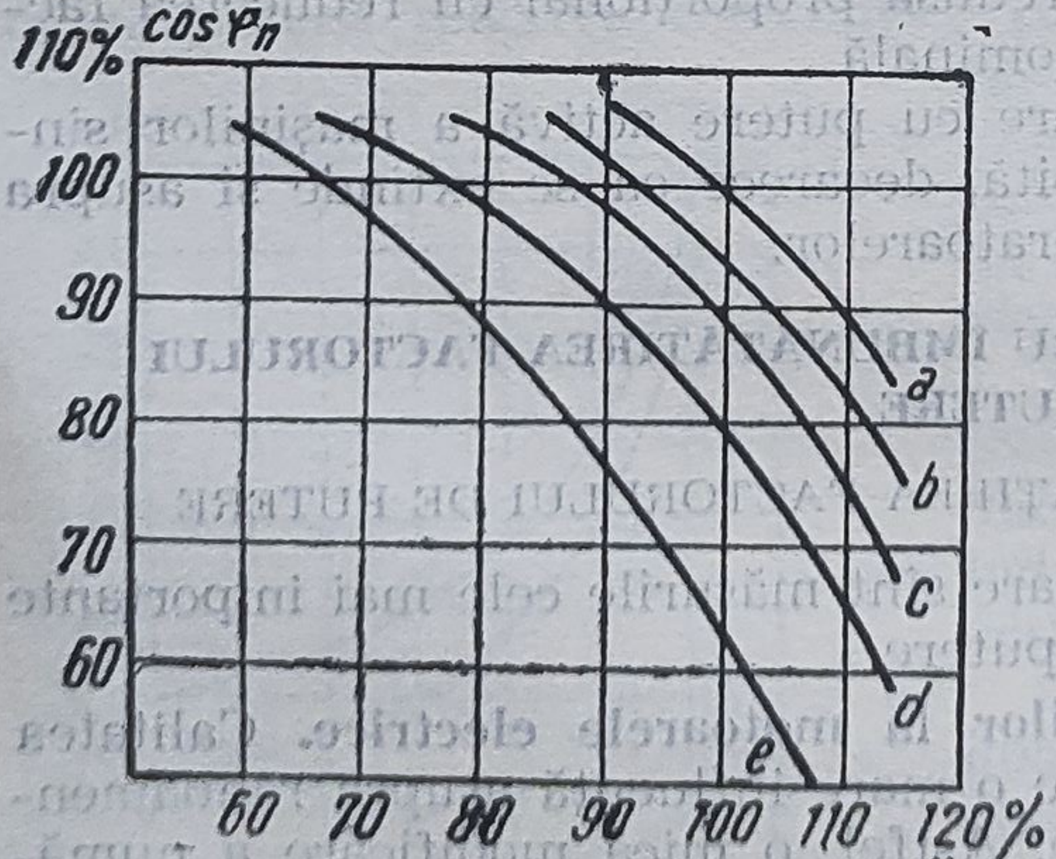


Fig. 6-3. Variația factorului de putere, în funcție de tensiune pentru diferite valori ale coeficientului de încărcare : *a* — 100% ; *b* — 80% ; *c* — 65% ; *d* — 40% ; *e* — 35%.

— *o condiție de stabilitate*, și anume aceea ca valoarea maximă a cuplului rezistent să nu depășească valoarea cuplului maxim al motorului, sub tensiunea redusă. În consecință, numai în cazul mașinilor la care cuplul maxim cerut nu depășește 44% din cuplul nominal al motorului este posibilă funcționarea permanentă cu conexiunea în stea.

● **Alegerea corectă a puterii motoarelor electrice asincrone.** Această măsură, care constă în alegerea corespunzătoare a puterii motoarelor de acționare pentru instalațiile electrice și înlocuirea motoarelor care au o putere prea mare în raport cu sarcina reală a mașinilor de lucru, are drept efect mărirea coeficientului de încărcare a motoarelor electrice. În vederea aplicării acestei măsuri este necesar a se efectua un calcul tehnicoeconomic, cunoscîndu-se că în condițiile de exploatare foarte variate ale unei mașini este greu să se stabilească precis puterea necesară în funcționare.

Înlocuirea unui motor de putere mai mare printr-unul de putere mai mică nu este avantajoasă decît atunci cînd reducerea pierderilor produse în rețea, datorită scăderii puterii reactive consumate de motor, este mai mare decît creșterea pierderilor în motor, datorită micșorării puterii lui.

● **Reglementarea regimului de mers în gol al motoarelor electrice.** În funcționarea mașinilor-unelte intervin perioade de oprire, respectiv de funcționare a motoarelor electrice în gol.

În funcționarea în gol a motoarelor, factorul de putere are o valoare foarte mică, deoarece raportul $\frac{Q}{P}$ are o valoare mare (puterea reactivă la mersul în gol reprezintă circa 70—80% din puterea reactivă de funcționare la sarcina nominală).

În acest scop se utilizează limitatoarele de mers în gol.

2. MIJLOACE PENTRU IMBUNĂTĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE

Pentru ridicarea valorii lui $\cos\varphi$, se folosesc diferite metode, dintre care cea mai răspîndită este *montarea în circuit a unor baterii de condensatoare*, care vor ceda circuitului energia reactivă. Să presupunem un circuit ca în figura 6-4, în care la bornele receptorului format dintr-o rezistență și o bobină se leagă un condensator. Curentul I, absorbit de receptor este defazat în urma tensiunii cu un unghi φ (fig. 6-5), iar curentul I_2 prin condensator este defazat cu $\frac{\pi}{2}$ înainte. Curentul total I dat de sursă va rezulta din compunerea vectorilor I_1 și I_2 ca în figura 6-5. Se observă că unghiul φ' de defazaj al acestui curent față de tensiu-

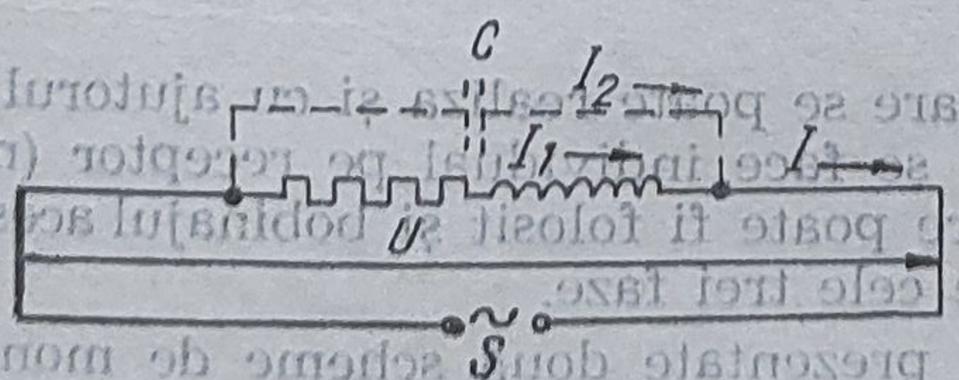


Fig. 6-4. Circuit explicativ pentru compensarea factorului de putere cu condensator.

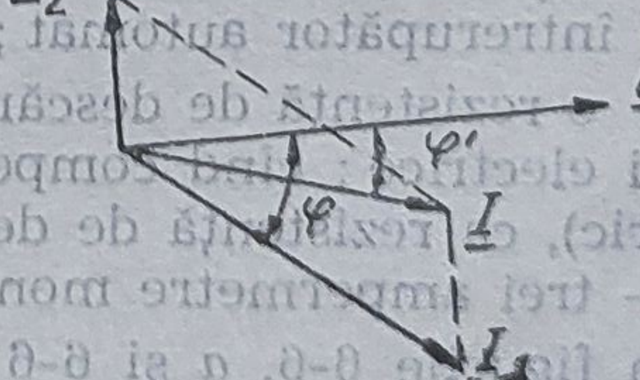


Fig. 6-5. Diagrama vectorială pentru circuitul din figura 6-4.

nea U este mai mic decît φ, deci cos φ s-a ameliorat. Operaţia de îmbunătăţire a lui cos φ se numeşte compensarea factorului de putere.

Compensarea factorului de putere se mai realizează şi prin *folosirea motoarelor sincrone în regim de compensatoare sincrone.*

În cele ce urmează se vor arăta cîteva particularităţi ale celor două metode de compensare a factorului de putere.

● **Compensarea factorului de putere prin condensatoare.** Principiul de îmbunătăţire a factorului de putere prin introducerea unor condensatoare statice constă în proprietatea acestora de a absorbi un curent defazat cu $\frac{\pi}{2}$ înaintea tensiunii. Cum orice inductanţă absoarbe un curent defazat cu $\frac{\pi}{2}$ în urma tensiunii, rezultă că efectul condensatoarelor va compensa efectul inductanţei sistemului.

Pentru îmbunătăţirea factorului de putere se folosesc condensatoare electrice formate din pachete de armături din foiţă metalică, separate între ele prin straturi izolante din hîrtie impregnată. Pentru tensiuni pînă la 500 V, condensatoarele se construiesc trifazate, legîndu-se în triunghi. Pentru tensiuni înalte şi puteri mici condensatoarele se execută monofazate.

În vederea îmbunătăţirii factorului de putere în industrie, în funcţie de puterea reactivă care trebuie compensată, se folosesc mai multe condensatoare alcătuind aşa-zisele *baterii cu puteri variate.* Protecţia acestora se realizează — în cazul tensiunilor joase — cu siguranţe fuzibile sau întrerupătoare automate. O importanţă deosebită trebuie acordată dispozitivelor pentru descărcarea condensatoarelor, deoarece în momentul deconectării de la reţea condensatoarele rămîn încărcate cu o sarcină electrică ($Q=CU$) astfel încît între bornele lor se menţine o tensiune ridicată. Acest lucru pune în pericol personalul de exploatare, în cazul executării lucrărilor de revizie şi control. Pentru descărcarea condensatoarelor decontate de la reţea se prevăd inductanţe sau rezistenţe de descărcare conectate în paralel cu condensatoarele.

La proiectarea instalaţiilor de îmbunătăţire a factorului de putere prin baterii de condensatoare, trebuie să se prevadă şi următorul aparataj electric :

— un întrerupător cu pîrghie sau automat, necesar pentru conectarea sau deconectarea bateriei ;

— siguranţe fuzibile, în cazul cînd protecţia nu este asigurată printr-un întrerupător automat ;

— o rezistenţă de descărcare, care se poate realiza şi cu ajutorul unor lămpi electrice ; cînd compensarea se face individual pe receptor (motor electric), ca rezistenţă de descărcare poate fi folosit şi bobinajul acestuia;

— trei ampermetre montate pe cele trei faze.

În figurile 6-6, *a* şi 6-6 *b* sînt prezentate două scheme de montaj a condensatoarelor de joasă tensiune.

● **Folosirea motoarelor sincrone în regim de compensatoare sincrone.** Motorul sincron funcţionînd supraexcitat produce putere reactivă,

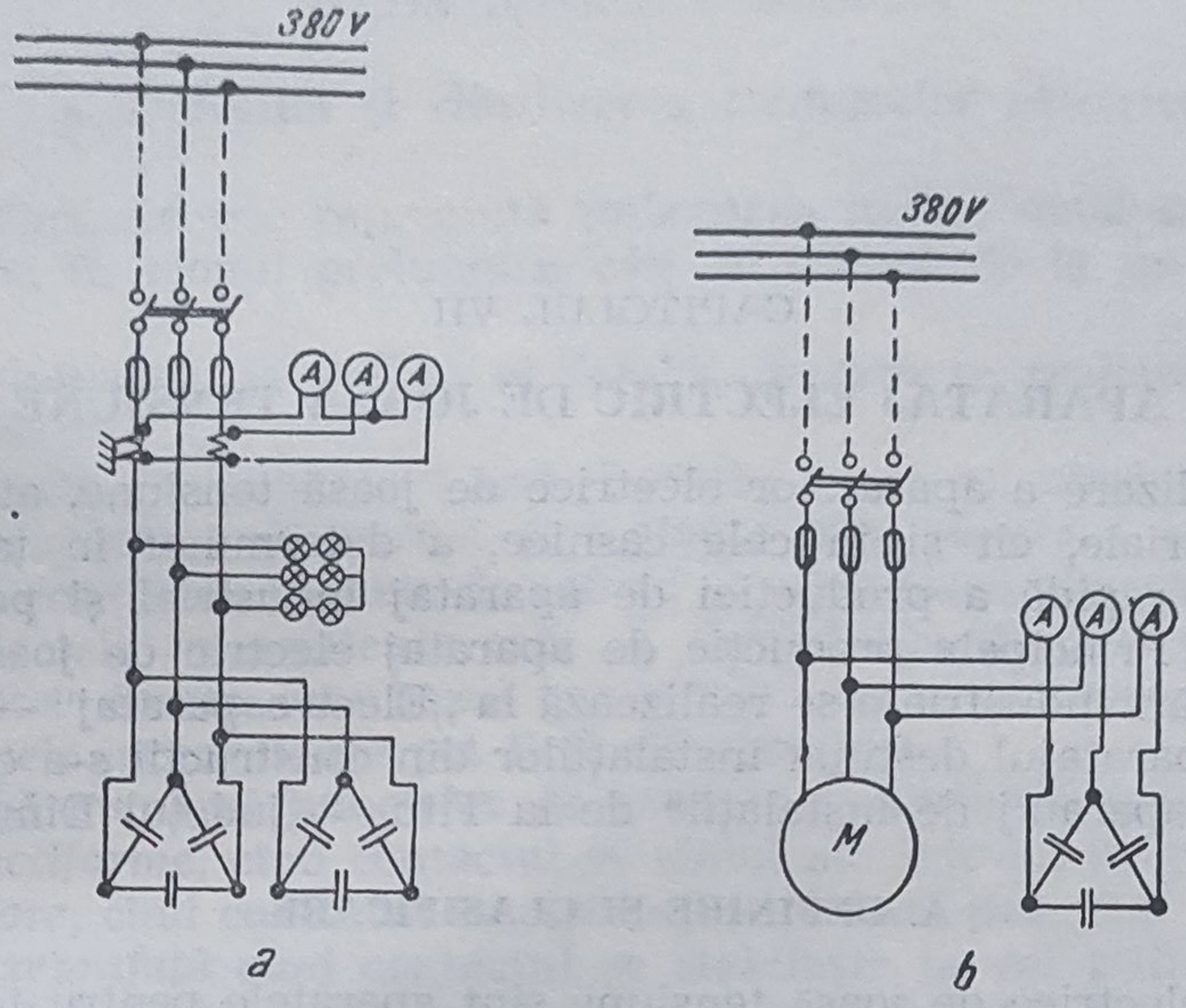


Fig. 6-6. Schema de montaj a condensatoarelor de joasă tensiune :
a — cu întrerupător independent ; b — cu întrerupător comun.

în care caz poate fi folosit exclusiv pentru îmbunătățirea factorului de putere. Asemenea motoare poartă denumirea de *compensatoare sincrone.*

Pornirea compensatoarelor sincrone se poate face în regim asincron.

Instalațiile de compensatoare sincrone introduc pierderi suplimentare și măresc costul investițiilor în raport cu celelalte mijloace de compensare. Din această cauză, utilizarea lor este justificată numai cînd trebuie compensate puteri reactive mari și cînd concomitent folosesc și la reglarea tensiunii.

CAPITOLUL VII

APARATAJ ELECTRIC DE JOASĂ TENSIUNE

Larga utilizare a aparatelor electrice de joasă tensiune, atît în instalaţiile industriale, cît şi în cele casnice, a determinat în ţara noastră o dezvoltare rapidă a producţiei de aparataj industrial şi pentru utilizări casnice. Principala producţie de aparataj electric de joasă tensiune pentru utilizări industriale se realizează la „Electroaparataj" — Bucureşti, iar pentru aparatajul destinat instalaţiilor din construcţii s-a creat recent „Fabrica de aparataj de instalaţii" de la Titu — judeţul Dîmboviţa.

A. DEFINIRE ŞI CLASIFICARE

Aparate electrice de joasă tensiune sînt aparatele pentru tensiuni nominale mai mici de 1 000 V.

Clasificarea aparatelor de joasă tensiune se face după următoarele criterii :

- **După numărul de poli :** — aparate monopolare ;
— aparate bipolare ; — aparate tripolare etc.
- **După funcţiunea pe care o îndeplinesc :** — aparate de conectare ;
— aparate pentru comanda şi reglajul maşinilor electrice ;
— aparate pentru protecţia instalaţiilor şi maşinilor electrice ;
— aparate pentru comanda automată şi protecţia maşinilor ;
- **După sistemul de acţionare :**
— aparate cu acţionare manuală, care poate fi directă sau indirectă ;
— aparate cu acţionare de la distanţă (electromagnetică, prin servomotor, pneumatică etc.) ;
- **După felul manevrării :**
— aparate cu manevrare neautomată (voită) ;
— aparate cu manevrare automată.
- **După mediul de stingere a arcului electric :**
— aparate în aer ; — aparate în ulei.

B. PRINCIPALELE ELEMENTE CONSTRUCTIVE ALE APARATELOR ELECTRICE

În construcţia aparatelor electrice se deosebesc mai multe elemente constructive : contacte, căi de curent, izolatoare, electromagneţi, bimetale etc. Unele dintre aceste elemente au rolul de a asigura trecerea curentului electric în lungul circuitului, altele asigură izolaţia între elementele conductoare, iar altele asigură fixarea diferitelor elemente şi transmit mişcarea părţilor mobile ale aparatelor, în scopul realizării diferitelor manevre.

1. CONTACTELE ELECTRICE

a. Definiția și clasificarea contactelor electrice

Un contact electric reprezintă îmbinarea dintre două sau mai multe conductoare, în scopul prelungirii căii de curent de la un conductor la altul.

● **Din punctul de vedere al felului în care se realizează contactul** se deosebesc :

— *contacte permanente (fixe)*, întîlnite în cazul cînd părțile aducătoare și culegătoare de curent sînt fixate prin șuruburi sau nituri. Un exemplu îl constituie bornele de racord al majorității aparatelor ;

— *contactele intermitente* care în timpul funcționării pot fi închise sau deschise. Acesta este cazul contactelor întreruptoarelor, prizelor etc.

Contactele intermitente pot fi și ele clasificate.

● **După numărul punctelor de contact,** contactele intermitente pot fi :

— *punctiforme*, cînd contactul se stabilește într-un singur loc ;

— *liniare*, cînd contactul se stabilește în două puncte ;

— *de suprafață* cînd contactul se stabilește în cel puțin trei puncte.

● **După valoarea curentului pe care trebuie să-l întrerupă** se deosebesc :

— *contacte care deconectează circuite sub tensiune fără sarcină ;*

— *contacte care întrerup curenți egali cel mult cu curentul nominal ;*

— *contacte care pot întrerupe curenți de scurtcircuit.*

● **După numărul elementelor care stabilesc contactul :**

— *contacte simple ;*

— *contacte multiple.*

● **După rolul pe care îl au la transmiterea curentului în funcționare permanentă, precum și la conectare și deconectare :**

— *contacte principale (de lucru)*, destinate să asigure un contact cît mai bun în timpul cît contactul este închis :

— *contacte de rupere*, destinate să contribuie la stabilirea și întreruperea curentului, protejînd contactele principale de uzură.

La aparatele care întrerup curenți mari (sute și mii de amperi) și tensiuni mari, contactele de lucru și rupere se execută ca piese distincte. La aparatele care întrerup curenți și tensiuni mijlocii, piesa de contact este astfel realizată încît o anumită suprafață a ei servește drept contact de lucru și altă suprafață drept contact de rupere.

La închidere, se închid întîi contactele de rupere și apoi, după stabilirea curentului, și cele principale. La deschidere se vor deschide întîi contactele principale și apoi cele de rupere.

b. **Rezistența de contact**

Cercetările au arătat că în cazul îmbinării a două suprafețe contactul nu are loc pe toată suprafața pieselor de contact, ci numai într-un număr limitat de puncte. Aceasta se explică prin aceea că suprafețele de contact, chiar și cele mai fin prelucrate, au unele neregularități.

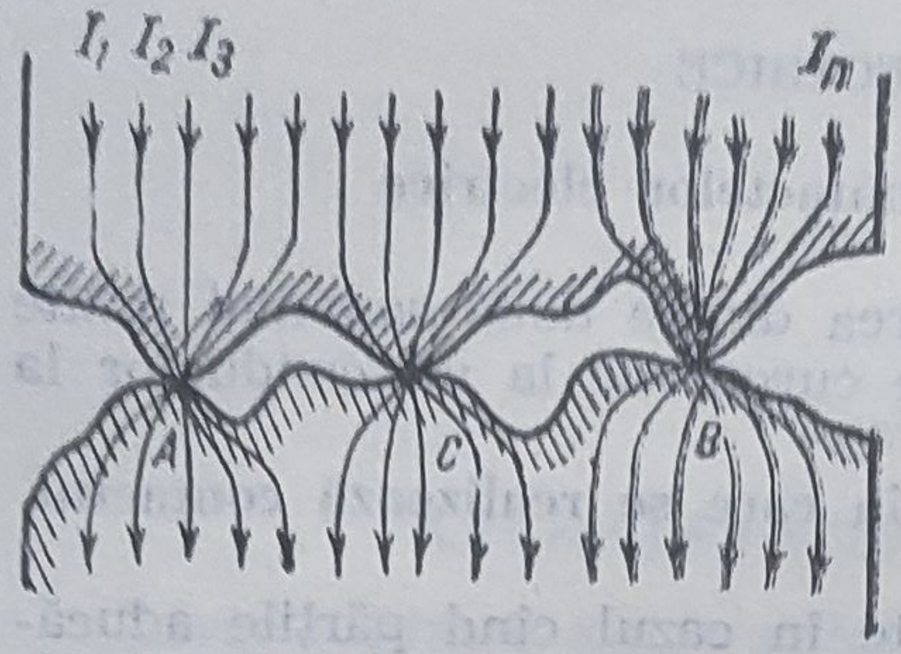


Fig. 7-1. Suprafețele (mult mărite) a două piese de contact.

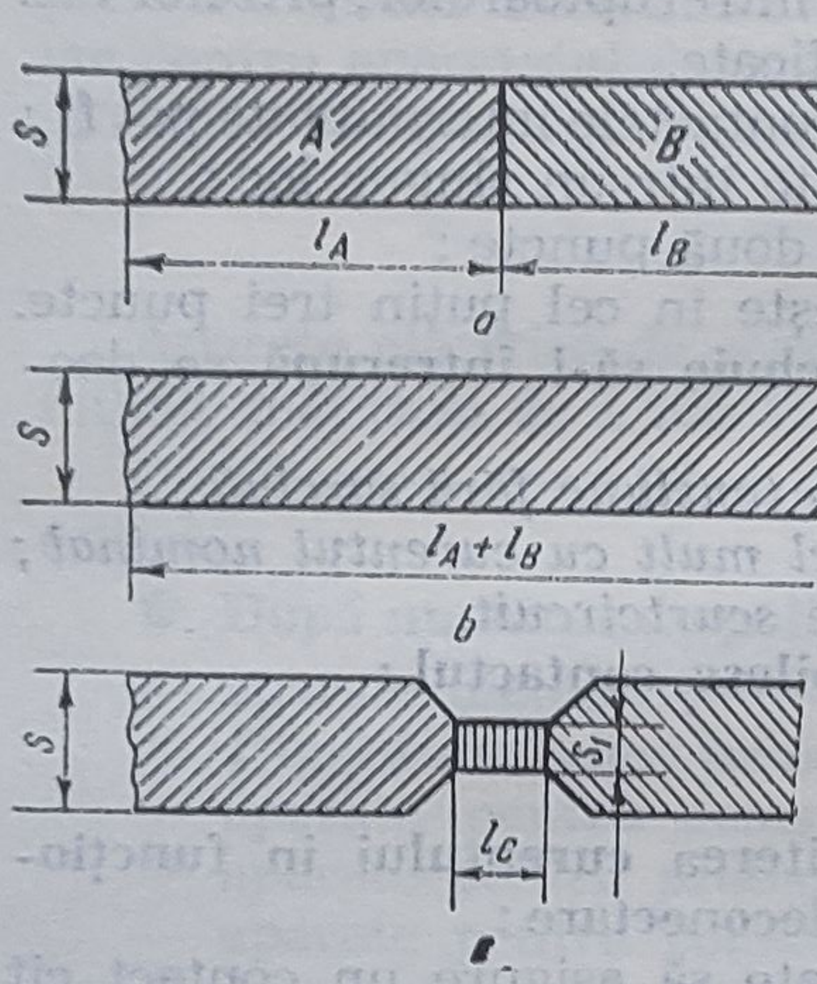


Fig. 7-2. Rezistența de contact în cazul îmbinării a două bare.

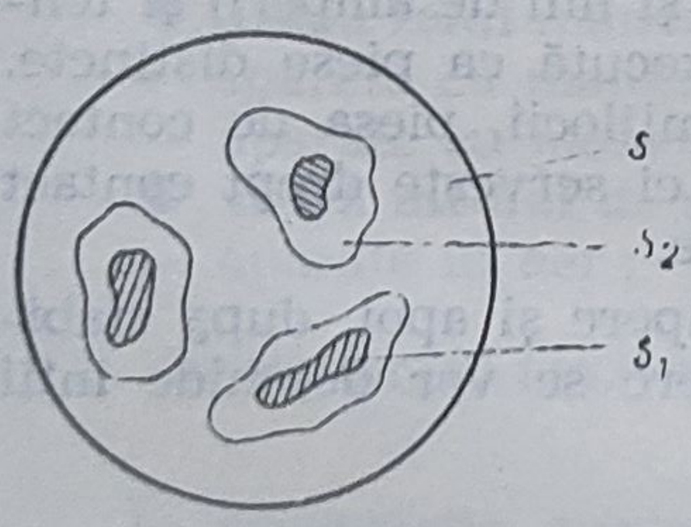


Fig. 7-3. Explicarea modului în care se realizează contactul între cele două bare.

● **Trecerea curentului prin suprafețele de contact.** Considerînd curentul format de curenți elementari $I_1, I_2 \ldots I_n$ se observă că în punctele de contact acești curenți suferă strangulări, curentul fiind obligat să circule prin cîteva zone de suprafață foarte mică (fig. 7-1).

Considerînd două bare A și B în contact (fig. 7-2, *a*), se constată că rezistența este mai mare ca în cazul unei bare omogene de lungime $l_A + l_B$ și secțiune S (fig. 7-2, *b*). Aceasta se datorează faptului că în locul de contact are loc o reducere a secțiunii de la valoarea S la S_1 pe lungimea l_c (fig. 7-2, *c*). Zona în care se produce srangularea curentului este denumită *zonă de strictțiune*. Deci, rezistența unei legături de contact R este formată din doi termeni: rezistența metalului de contact R_m și rezistența de trecere R_t, adică:

$$R_c = R_m + R_t.$$

Rezistența metalului din care este realizat contactul depinde de natura materialului și de dimensiunile legăturii de contact și este aproximativ constantă.

Examinînd la microscop suprafața unei piese de contact se observă, așa cum se vede și în figura 7-3, *o suprafață de contact S, o suprafață reală de contact electric* S_1 *și o suprafață* de atingere mecanică S_2.

Suprafața de contact electric reală este mai mică decît suprafața de atingere mecanică, deoarece nu toate porțiunile care se ating servesc pentru conducerea curentului. Peliculele de oxid sau impuritățile deseori nu sînt conductoare de curent.

Datorită concentrării mari a curentului, în zonele de contact densitatea de curent crește mult. Au loc încălziri locale care împiedică

buna funcţionare a contactului. Din cauza măririi rezistenţei apare o cădere suplimentară de tensiune în contact.

● **Factorii care influenţează rezistenţa de contact.** Rezistenţa de contact este influenţată de mai mulţi factori :

— *forţa de apăsare pe suprafeţele de contact,* care este factorul esenţial care influenţează rezistenţa de trecere. La creşterea forţei de apăsare, se măreşte suprafaţa de atingere S_2, deci se măreşte şi suprafaţa reală de trecere a curentului S_1 ;

— *materialele din care sînt confecţionate contactele,* deoarece cu cît rezistivitatea materialului este mai mare, rezistenţa de trecere a curentului este mai mare ;

— *starea suprafeţei de contact,* care este legată de natura materialului contactului. Materialele ai căror oxizi sînt rău conducători de curent, cum este cazul oxidului de aluminiu şi cupru, au rezistenţa de contact mărită, deoarece suprafaţa reală de contact electrică este mică. Cu totul altul este cazul oxidului de argint care este bun conducător. Dacă suprafaţa de contact este murdară, rezistenţa de contact de asemenea creşte ;

— *mărimea suprafeţei de contact* deoarece cu cît aceasta este mai mare, numărul de puncte de contact creşte. Practic însă, se constată că influenţa mărimii suprafeţei de contact asupra rezistenţei de trecere este mică ;

— *temperatura contactului, astfel :* la temperaturi mai mari de 20°C, rezistivitatea materialului creşte. La temperaturi foarte mari (apropiate de temperatura de topire), materialul devine mai moale, deci se măreşte suprafaţa reală de contact şi rezistenţa de contact scade.

c. Căderea de tensiune în contacte

Căderea de tensiune în contacte este dată de relaţia :

$$U_c = R_c I.$$

Se observă că U_c este direct proporţională cu rezistenţa de contact R_c şi cu curentul I care trece prin contact, şi deci factorii care influenţează tensiunea de contact vor fi aceeaşi ca în cazul rezistenţei de contact.

Este de dorit ca această cădere de tensiune să fie cît mai mică, pentru a nu avea în circuit pierderi de tensiune.

d. Tipuri şi forme de contact

Practica construcţiei aparatelor electrice a impus apariţia unor forme foarte variate de contacte pe care le-a grupat în cîteva tipuri mai importante.

● **Contactele cap la cap (frontale)** sînt folosite la întrerupătoarele de înaltă tensiune şi de mare putere şi se execută în formă de piese metalice masive sau ţevi.

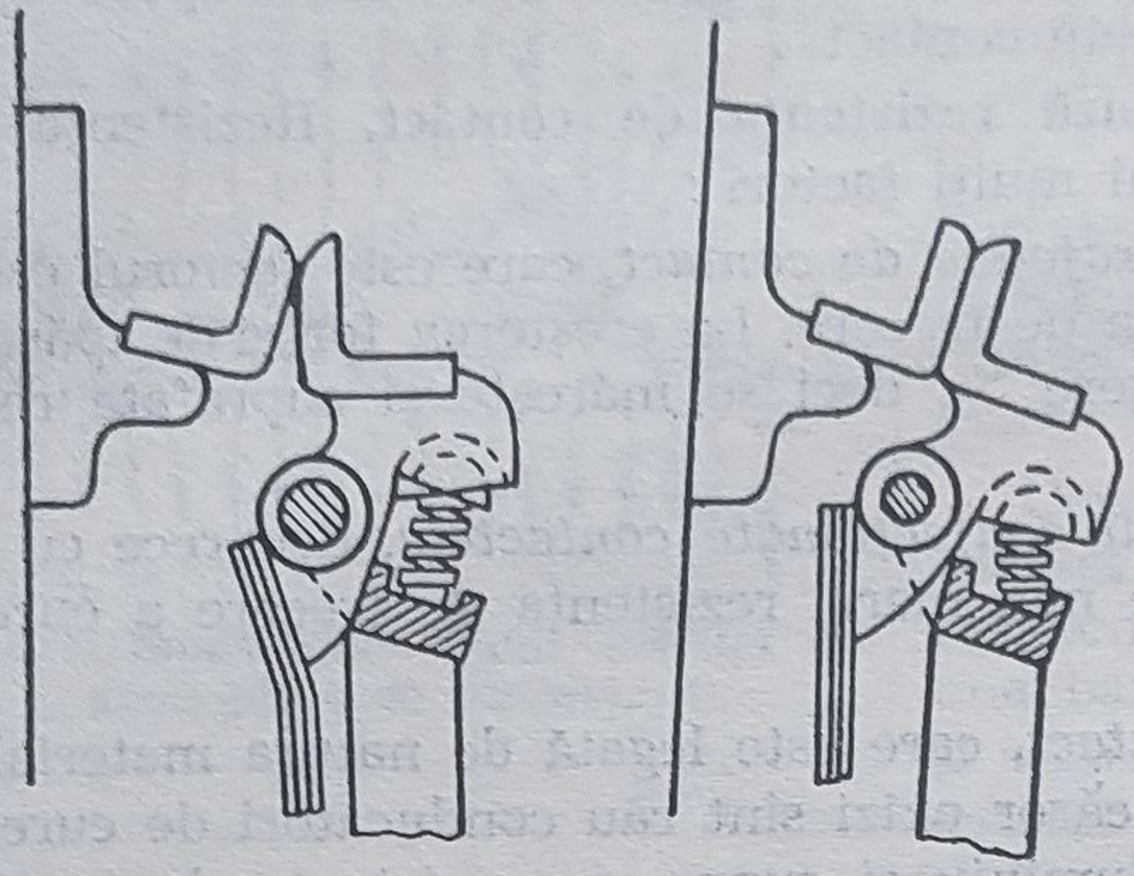


Fig. 7-4. Închiderea prin rostogolire a contactelor de tip deget.

● **Contactul deget este** un contact liniar cu autocurăţire, adică prin frecare cele două suprafeţe de contact se curăţă de oxid (fig. 7-4). Contactele deget sînt folosite drept contacte principale şi pentru rupere.

● **Contactele tulipă** sînt folosite în întrerupătoarele moderne. Sînt formate din cîteva segmente (lamele) care reprezintă contactul fix, şi o bază de contact pe care sînt presate segmentele cu resorturi. Aceste contacte au o mare siguranţă în funcţionare ; de aceea, se folosesc pentru tensiuni înalte şi joase la aparate de conectare, drept contacte principale şi de rupere.

● **Contactele perie** sînt formate dintr-un mănunchi de lamele de cupru tare, tombac sau bronz de 0,1...0,5 mm, peste care se aplică o placă acoperitoare mai groasă. Peria apasă pe un cuţit.

Aceste contacte se pot folosi la curenţi mari, deoarece au rezistenţă de contact mică. Se folosesc drept contacte principale la unele aparate de conectare şi deconectoare de mare putere. Dezavantajul care îl prezintă constă în aceea că elasticitatea lamelelor scade.

● **Contactele elastice (cuţit)** au contactele fixe formate dintr-un material elastic (cupru tras, bronz special) avînd o formă care le face să arcuiască. Presiunea pe contact, care se realizează datorită elasticităţii materialului, este mică ; de aceea se adaugă resorturi de oţel. Aceste contacte se folosesc la întreruptoare cu pîrghie, separatoare şi siguranţe drept contacte principale, deoarece nu rezistă la uzura datorită arcului.

● **Contactele glisante** asigură legătura între două conductoare mobile unul faţă de celălalt. Sînt folosite la aparate de comandă, rezistenţe de pornire şi reglaj, separatoare, maşini electrice. Pot fi de tip deget, tulipă, lamelare, perie sau cu role.

● **Bornele de racord.** Bornele sînt contacte plane, permanente ; de aceea, necesită forţe mari de apăsare, care nu se pot obţine decît prin strîngere cu şuruburi.

Bornele de racord sînt astfel dimensionate încît conductoarele de racord sînt fixate prin şuruburi care asigură forţa necesară de apăsare pe contact, corespunzătoare curentului nominal al aparatului şi circuitului.

În cazul unei strîngeri incorecte a şurubului, rezistenţa de contact creşte şi borna se încălzeşte.

2. DISPOZITIVE PENTRU STINGEREA ARCULUI ELECTRIC

Toate dispozitivele pentru stingerea arcului urmăresc ca stingerea arcului electric să se facă într-un timp foarte scurt și energia calorică ce se dezvoltă să fie minimă. În cele ce urmează se vor descrie cîteva dispozitive.

● **Dispozitive de suflaj magnetic.** Stingerea arcului electric este ușurată dacă el este forțat să se deplaseze după o direcție perpendiculară pe axa sa. Acest lucru se poate obține folosind fie forțele electrodinamice care apar între contacte, fie forțele electromagnetice datorate acțiunii dintre cîmpul propriu al coloanei de arc și cîmpul unei bobine conectate în serie cu contactele, numită bobină de suflaj.

Ultima soluție (fig. 7-5) se folosește în special în curent continuu și pentru curenți de valoare medie, pentru care forțele electrodinamice nu au o valoare suficient de mare. Aceeași construcție se folosește și în curent alternativ, pentru curenți mari, pentru a se asigura o viteză mai mare de deplasare a arcului electric.

Cercetările întreprinse au arătat că suflajul magnetic al arcului poate fi intensificat prin îmbrăcarea pereților laterali ai camerei de stingere cu niște plăci de tablă de fier, numite plăci polare. Miezurile bobinei de suflaj în curent alternativ se execută din pachete de tole din tablă siliciosă sau miezuri de oțel crestate pentru a se reduce curenții turbionari.

● **Camere de stingere.** Din punct de vedere constructiv, o cameră de stingere este compusă din doi pereți executați din materiale termorezistente, a căror formă permite acoperirea perechilor de contacte fixe și mobile, în așa fel încît arcul electric dintre aceste contacte să se producă numai în interiorul camerei.

În partea opusă contactelor, camera de stingere are niște deschideri, care permit ieșirea aerului cald și a gazelor care apar datorită arcului.

Dimensiunile camerelor de stingere depind de: curentul nominal al contactorului, regimul de lucru, construcția contactelor, utilizarea suflajului magnetic. De aceea, camerele de stingere nu pot fi utilizate de la un tip de aparat la altul.

Camerele de stingere sînt absolut necesare în exploatarea aparatelor, deoarece în lipsa lor pot apărea scurtcircuite între faze (provocate de arcul electric a cărui acțiune nu mai este limitată) și o uzare rapidă a pieselor de contact.

Din punct de vedere constructiv, se deosebesc:

— *camere de stingere largi,* la care distanța între pereți este egală sau mai mare decît diametrul arcului;

— *camere de stingere înguste,* la care distanța între pereți este mai mică decît diametrul arcului. Adesea, profilul transversal al fantei nu este plan, ci ondulat pentru a se putea asigura o lungire mai mare a ar-

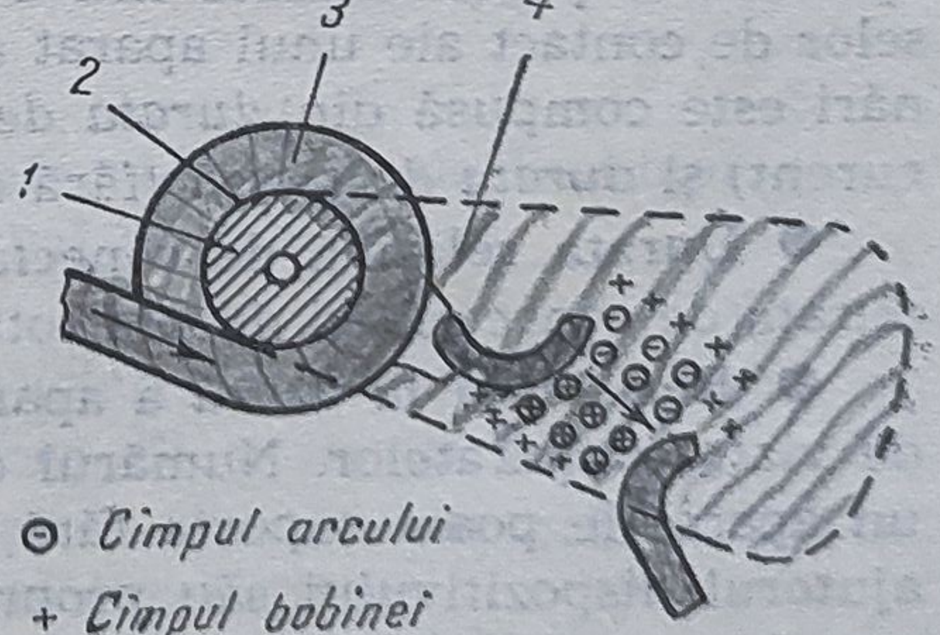


Fig. 7-5. Stingerea arcului electric cu ajutorul cîmpului magnetic:
1 — miez magnetic; 2 — tub izolant; 3 — bobină de suflaj magnetic; 4 — placă polară.

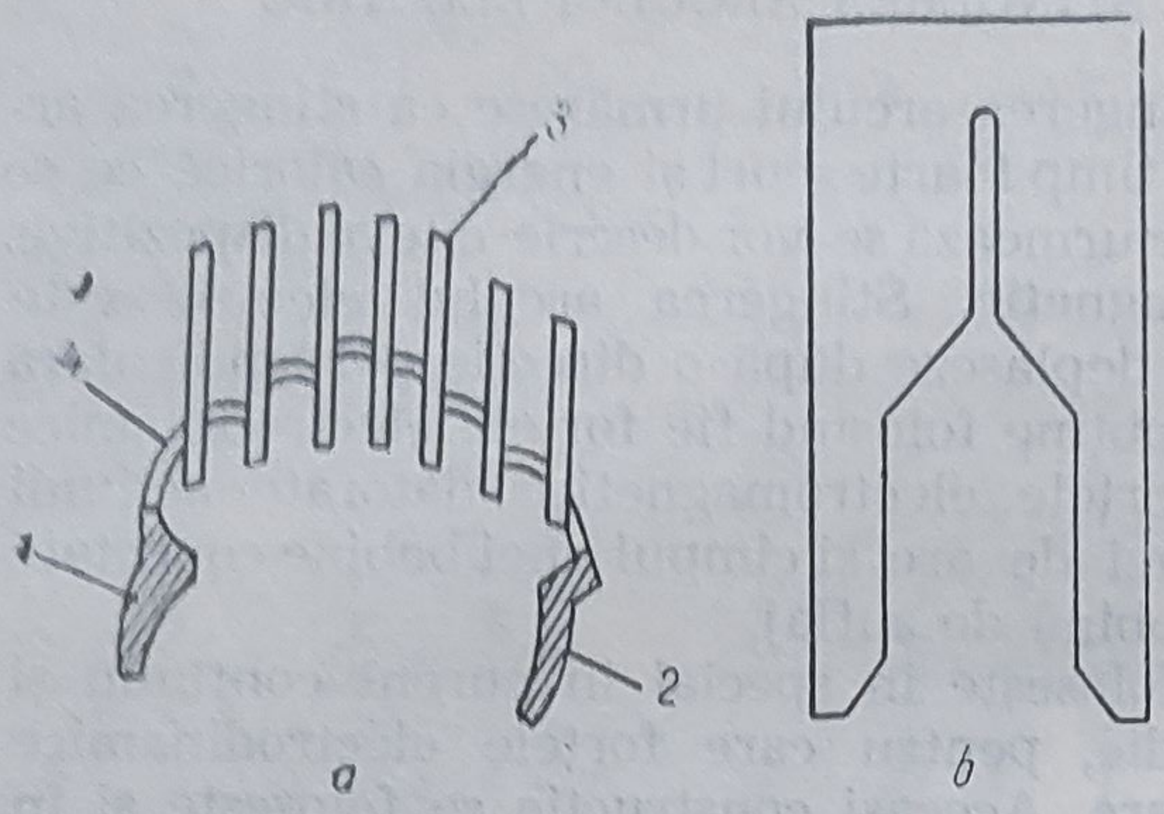


Fig. 7-6. Cameră de stingere cu dispozitiv de divizare a arcului :

a — principiul construcției ; b — placă deionică ; 1 — contact fix ; 2 — contact mobil ; 3 — grătar ; 4 — coloana de arc.

culuí și suprafețe de răcire cît mai mari fără a mări exagerat dimensiunile camerei ;

— *camere de stingere cu dispozitiv de divizare a arcului,* la care în partea superioară unde este suflat arcul se află un grătar format din plăcuțe de cupru sau oțel (fig. 7-6). Plăcile de cupru au o mare capacitate calorică și răcesc coloana de arc ; plăcile de fier măresc efectul forțelor electrodinamice. Datorită grătarului, arcul electric este divizat în mai multe porțiuni scurte, ceea ce împiedică reaprinderea lui.

În curent continuu nu se utilizează camerele de stingere cu grătar.

În construcțiile de aparate se utilizează dispozitive pentru stingerea arcului electric care au la bază combinații ale diferitelor metode pentru stingerea arcului.

C. MĂRIMI CARACTERISTICE ALE APARATELOR ELECTRICE

Pentru dimensionarea aparatelor, ca și pentru o bună alegere și utilizare a lor în exploatare, trebuie să se țină seama de cîteva mărimi care caracterizează regimul lor de funcționare :

● **Tensiunea nominală** este tensiunea pentru care este construit aparatul și pentru care este garantată buna funcționare a acestuia.

● **Curentul nominal** este curentul pe care un aparat îl poate suporta fără depășirea unei încălziri limită, în condiții prestabilite (în regimul său normal de lucru).

● **Frecvența de conectare** reprezintă numărul de acționări pe care aparatul le poate executa într-o oră. O închidere și o deschidere a pieselor de contact ale unui aparat alcătuiesc o *acționare*. Durata unei acționări este compusă din *durata de conectare* (timpul cît aparatul este sub curent) și *durata de pauză* (fără curent).

● **Durata relativă de conectare** exprimă raportul în procente dintre durata de conectare și durata totală a unei conectări.

● **Rezistența la uzură** a aparatelor este o mărime care indică durata de viață a aparatelor. Numărul de acționări fără curent (în gol) pe care un aparat le poate suporta fără defectări, fiind acționat mecanic sau cu ajutorul dispozitivului său propriu de acționare, reprezintă *rezistența la uzură mecanică* a aparatului. Numărul de acționări sub sarcină pe care aparatul le poate suporta fără defectări, în anumite condiții fără înlocuirea pieselor de contact, reprezintă *rezistența la uzură electrică* a aparatului sau durata de serviciu a pieselor de contact.

În general, rezistența la uzură electrică este mai redusă decît rezistența la uzură mecanică și deci unele aparate trebuie prevăzute cu piese de schimb.

Un aparat se caracterizează și prin valorile capacității de închidere și de rupere în cazul unei funcționări normale sau de avarie, corespunzătoare unui anumit regim de lucru.

Prin *funcționarea normală* se înțelege funcționarea aparatului în condițiile care există de obicei în instalația pentru care acesta a fost ales.

Prin *funcționare de avarie* se înțelege funcționarea aparatului în condițiile cele mai grele care pot apărea în instalația unde se utilizează.

● **Capacitatea de închidere nominală** a unui aparat se exprimă prin valoarea curentului în regim de lucru stabilit, pe care aparatul îl poate închide fără producerea sudurii contactelor sau a unui arc electric excesiv de mare, în anumite condiții care țin seama de tensiunea între faze înaintea închiderii contactelor și caracteristica circuitului care este închis (factor de putere $\cos\varphi$ sau constanta de timp L/R).

● **Capacitatea de rupere nominală** a unui aparat se exprimă prin valoarea curentului pe care acesta îl poate întrerupe fără o uzură exagerată a contactelor sau producerea unui arc electric puternic, în anumite condiții care țin seama de caracteristica curentului care se deschide și de tensiunea de restabilire.

● **Tensiunea de restabilire** reprezintă tensiunea care apare la borna unui pol al unui aparat după întreruperea curentului.

Tipurile de protecție ale aparatelor se referă la măsurile constructive ce se iau pentru ca aparatele să satisfacă solicitările mediului ambiant.

D. APARATE DE CONECTARE

1. GENERALITĂȚI

Aparatele de conectare servesc la întreruperea, închiderea și comutarea circuitelor electrice, în starea normală de funcționare.

● **Principalele aparate de conectare** folsite în instalațiile de joasă tensiune sînt :

— separatoarele ;
— întreruptoarele cu pîrghie ;
— întreruptoarele și comutatoarele pentru instalații de iluminat ;
— întreruptoarele și comutatoarele pachet și cu came ;
— prizele cu fișe.

● Aceste aparate au următoarele **caracteristici comune :**

— sînt acționate manual atît la închidere cît și la deschidere ;
— servesc pentru stabilirea și întreruperea circuitului, nefiind prevăzute cu alte elemente de protecție, măsură sau reglare ;
— nu pot întrerupe decît curenții de serviciu mai mici sau egali cu curentul nominal ; în general nu au rolul și nu pot să întrerupă curenții mari de suprasarcină sau de scurtcircuit ;
— sînt destinate să fie manevrate relativ rar.

2. SEPARATOARE DE JOASĂ TENSIUNE

Separatoarele se folosesc pentru izolarea porţiunilor de instalaţii pe care se execută lucrări, în scopul asigurării securităţii personalului care le execută. Acestea nu au capacitate de rupere, deoarece viteza de deschidere a contactelor este mică şi arcul format ar avaria contactele.

Poziţia contactelor separatoarelor trebuie să fie vizibilă pentru a se putea verifica în acest fel că circuitul este întrerupt.

O construcţie tipică de separator de joasă tensiune este cea din figura 7-7.

Contactele fixe sînt de obicei furci de cupru sau tombac. Cuţitele sînt de obicei de cupru.

Presiunea de contact este asigurată de cele mai multe ori de elasticitatea materialului din care sînt confecţionate furcile şi uneori de resoarte suplimentare.

Acţionarea separatoarelor se face de obicei manual, cu ajutorul unei prăjini izolante.

3. ÎNTRERUPTOARE ŞI COMUTATOARE CU PÎRGHIE

Intreruptoarele şi comutatoarele cu pîrghie sînt aparate destinate închiderii, deschiderii şi comutării sub sarcină a circuitelor electrice. Spre

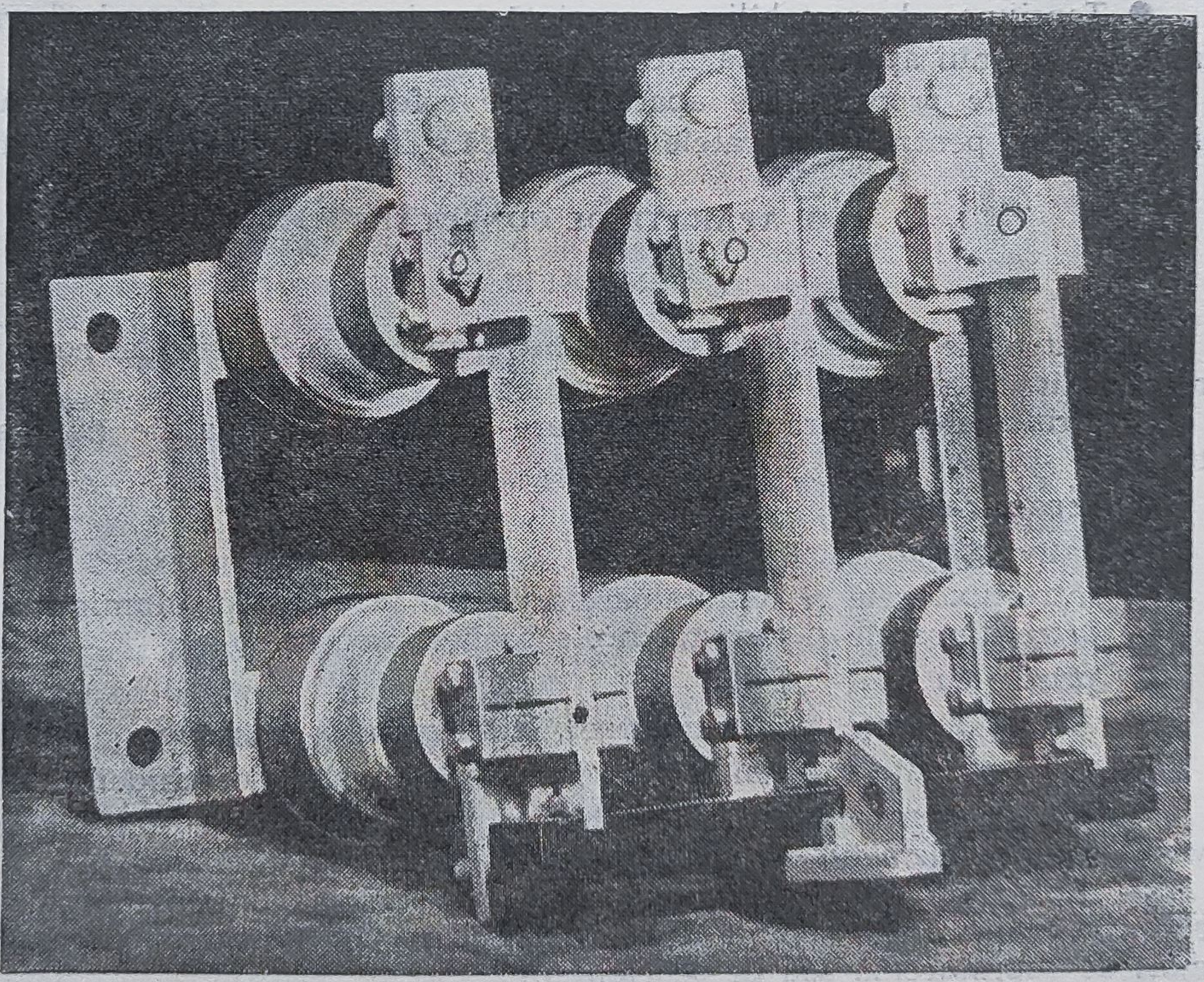


Fig. 7-7. Separator de joasă tensiune.

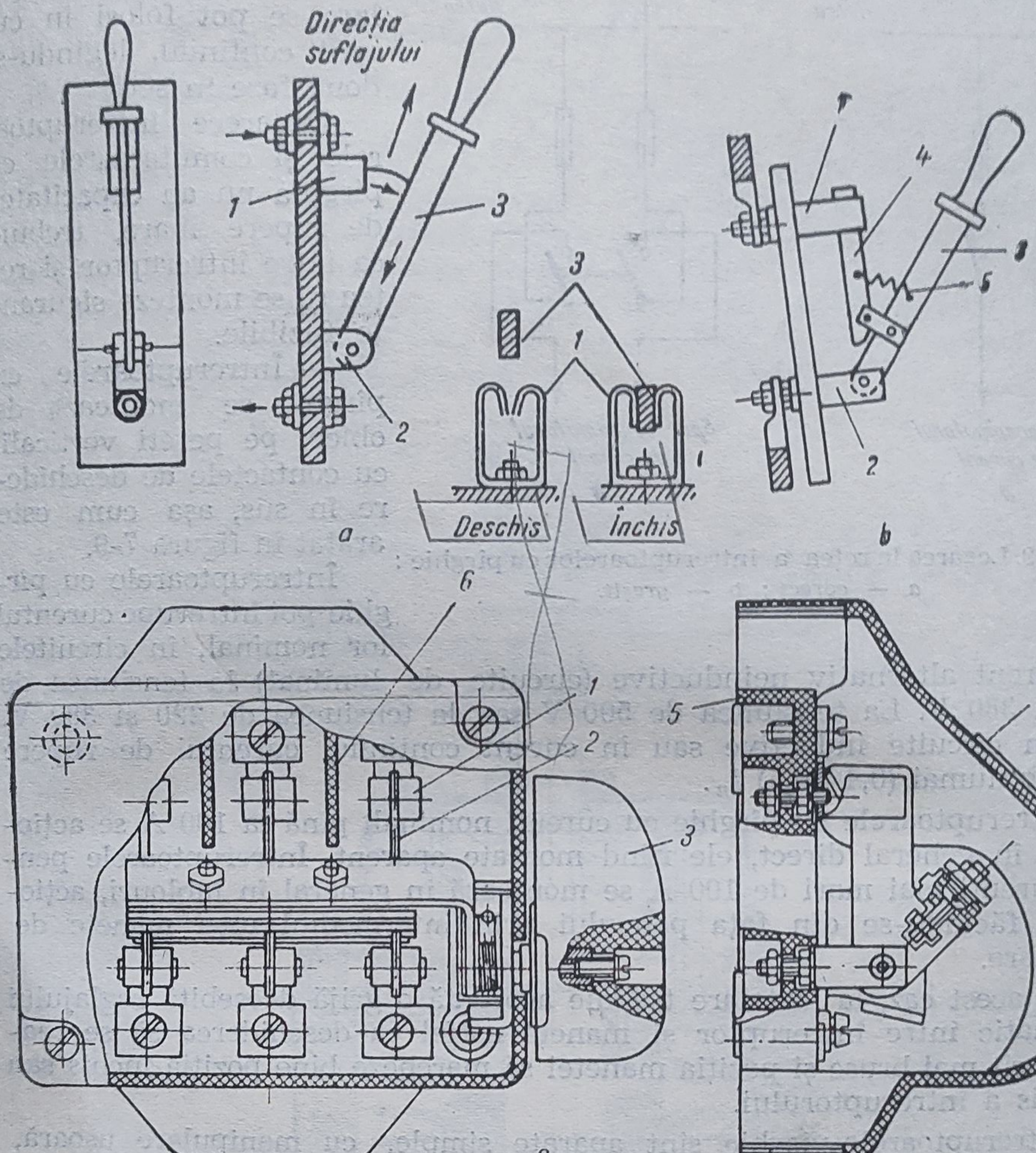


Fig. 7-8. Întreruptoare cu pîrghie :
a — întreruptor monopolar, fără rupere bruscă ; b — idem cu rupere bruscă ; 1 și 2 — contacte fixe ; 3 — cuțit ; 4 — contact de rupere : 5 — resort ; c — întreruptor tripolar cu mînerul așezat lateral ; 1 — contact fix ; 2 cuțit ; 3 — mînerul de acționare ; 4 — capac izolant ; 5 — placă de bază ; 6 — paravan de izolare între faze.

deosebire de separatoare acestea sînt prevăzute cu dispozitive speciale pentru stingerea arcului și pentru protecția celor care le manevrează, față de efectul arcului electric.

Întreruptoarele cu pîrghie sînt formate din unul, două sau trei cuțite, care se rotesc simultan în jurul unui ax și stabilesc contactul cu contactele fixe. Acționarea se face în general cu ajutorul unui mîner plasat în prelungirea cuțitelor (fig. 7-8, *a*, *b*) sau lateral (fig. 7-8, *c*). Aparatele sînt prevăzute cu un capac de protecție, care ferește persoanele care deservesc aparatul de efectele arcului electric.

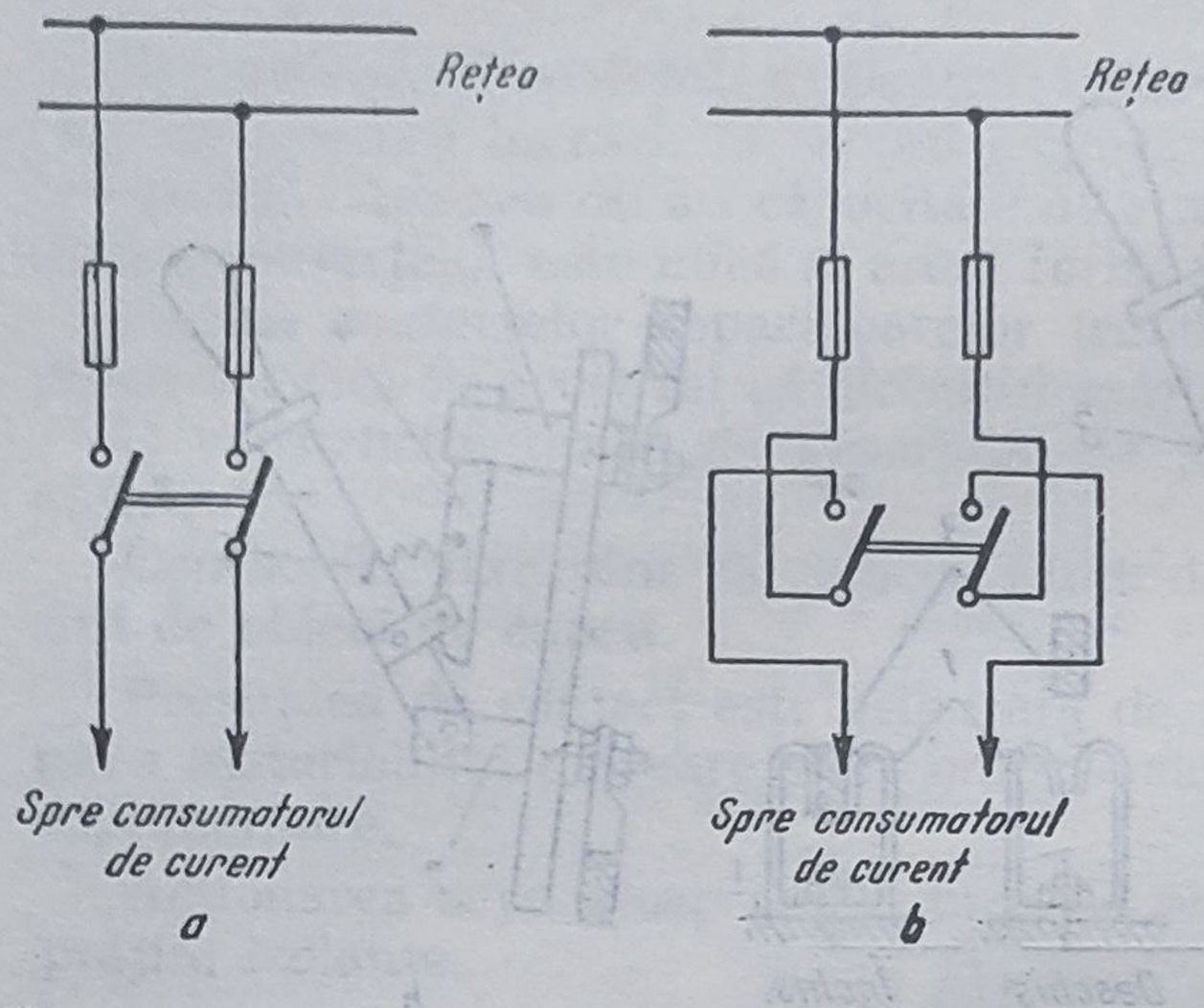


Fig. 7-9. Legarea la rețea a întreruptoarelor cu pîrghie : *a — corect ; b — greșit.*

Întreruptoarele tripolare se pot folosi în curent continuu, legîndu-se două faze în serie.

Deoarece întreruptoarele și comutatoarele cu pîrghia nu au capacitatea de rupere mare, trebuie ca între întreruptor și rețea să se monteze siguranțe fuzibile.

— Întreruptoarele cu pîrghie se montează de obicei pe pereți verticali, cu contactele de deschidere în sus, așa cum este arătat în figura 7-9.

Întreruptoarele cu pîrghie pot întrerupe curentul lor nominal, în circuitele de curent alternativ neinductive (circuite de luminat) la tensiunea de 220 și 380 V. La tensiunea de 500 V sau la tensiunea de 220 și 380 V, dar în circuite inductive sau în curent continuu, curentul de rupere este de numai (0,4—0,5) I_n.

Întreruptoarele cu pîrghie cu curenți nominali pînă la 100 A se acționează în general direct, ele fiind montate aparent. Întreruptoarele pentru curenți mai mari de 100 A se montează în general în tablouri, acționarea făcîndu-se din fața panoului prin intermediul unei manete de acționare.

În acest caz, la instalare trebuie acordată o grijă deosebită reglajului cinematic între întreruptor și manetă astfel ca deschiderea să se realizeze cît mai brusc și poziția manetei să marcheze bine poziția închis sau deschis a întreruptorului.

Întreruptoarele-pîrghie sînt aparate simple, cu manipulare ușoară, care se folosesc mai ales pe șantiere, în ateliere și, de obicei, acolo unde există un personal numeros și necalificat. Fiind simple, întreruptoarele-pîrghie sînt mai puțin protejate și prezintă trei *pericole* :

— arc electric deschis în aer, care poate produce scurtcircuite, incendii sau accidentarea celui care manipulează maneta de deschidere ;

— atingerea pieselor sub tensiune ;

— pericol de acționare nedorită, prin lovirea accidentală a manetei de acționare.

Pentru a preîntîmpina astfel de accidente, se iau următoarele *măsuri* :

— întreruptorul-pîrghie se folosește totdeauna cu capacul de protecție montat ;

— nu se plasează în locuri cu circulație intensă, pentru a nu fi atins sau acționat din greșeală ;

— se montează totdeauna cu contactul de întrerupere în sus, astfel încît să poată fi manevrat ușor și avînd deasupra suficient spațiu.

4. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE PACHET

● **Construcție și funcționare.** Întreruptoarele și comutatoarele pachet (fig. 7-10) sînt aparate de conectare de joasă tensiune acționate manual, caracterizate prin faptul că ansamblul aparatului se obține prin însușirea pe același ax a unui număr variabil de elemente (pachete) de construcție similară, fiecare element cuprinzînd o cale de curent (fig. 7-11). Întreruptoarele și comutatoarele pachet cuprind o serie de discuri suprapuse *2* pe care sînt montate contactele fixe. Contactele mobile *3*, din material conductor, elastic, cîte unul pentru fiecare sector, sînt așezate pe un ax central *1* și se deplasează solidar cu aceasta.

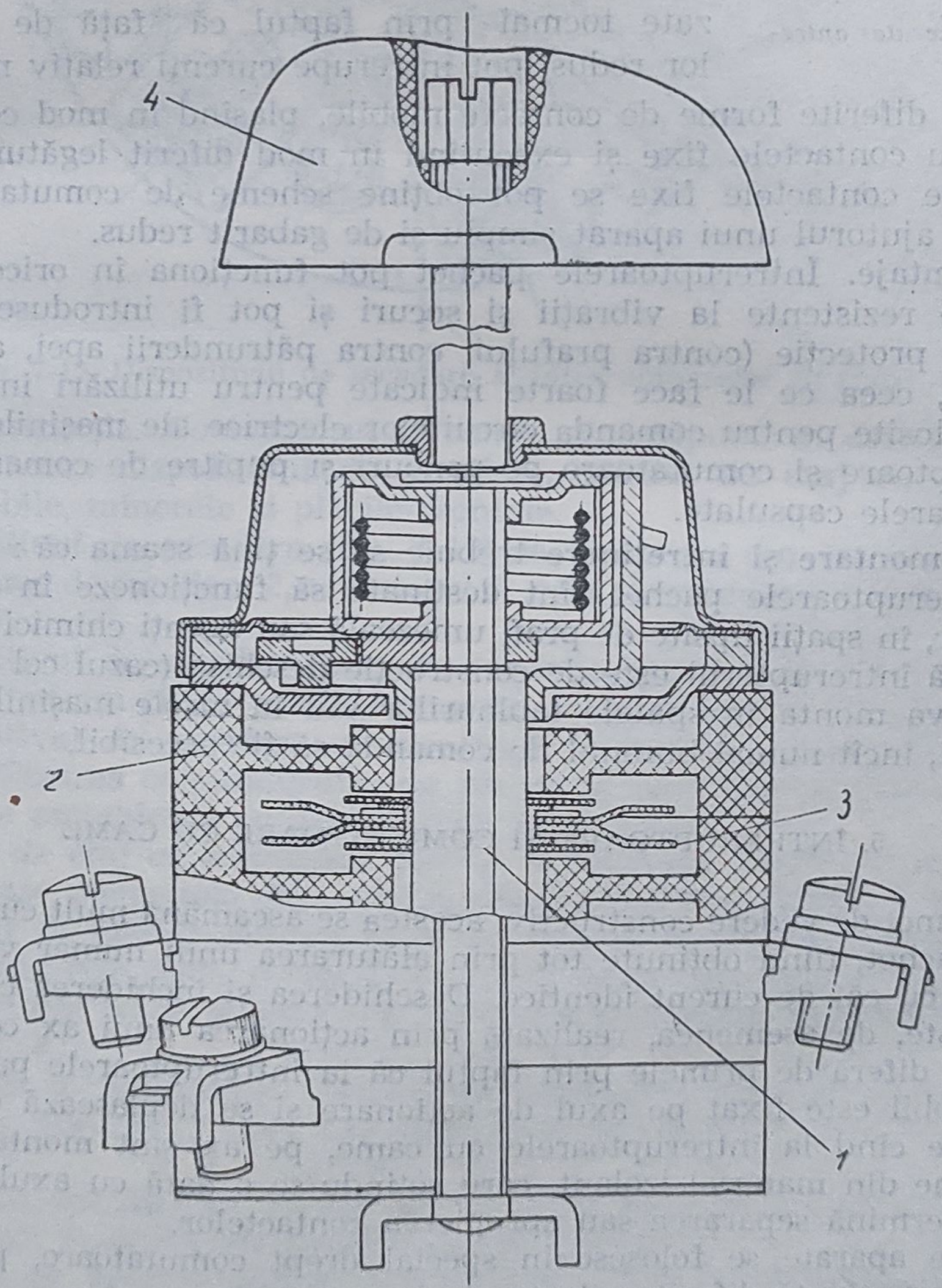


Fig. 7-10. Întreruptor pachet.

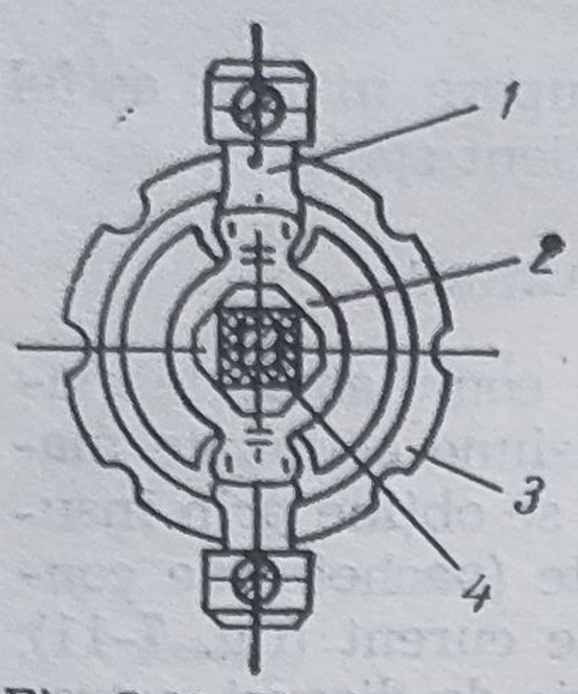


Fig. 7-11. Element (etaj) al unui întreruptor pachet :
1 — contact fix ; 2 — contact mobil ; 3 — disc izolant ; 4 — ax de antrenare.

Un sistem de sacadare realizează întreruperea bruscă, independent de viteza cu care este acționat butonul.

Butonul de acționare *4* este montat liber pe ax, nefiind solidar cu acesta. Legătura dintre butonul de acționare și ax (pe care sînt montate rigid contactele mobile) se realizează prin intermediul dispozitivului de sacadare. Numai după ce butonul s-a rotit cu un anumit unghi, se eliberează axul cu contactele mobile, acestea sărind brusc dintr-o poziție în cealaltă. În felul acesta, aparatul realizează o întrerupere bruscă. Toate aceste condiții favorizează întreruperea arcului electric, întreruptoarele pachet fiind caracterizate tocmai prin faptul că față de gabaritul lor redus, pot întrerupe curenți relativ mari.

Alegînd diferite forme de contacte mobile, plasînd în mod convenabil discurile cu contactele fixe și executînd în mod diferit legăturile exterioare între contactele fixe se pot obține scheme de comutare foarte variate, cu ajutorul unui aparat simplu și de gabarit redus.

● **Avantaje.** Întreruptoarele pachet pot funcționa în orice poziție, sînt foarte rezistente la vibrații și șocuri și pot fi introduse ușor în carcasa de protecție (contra prafului, contra pătrunderii apei, antigrizutoase etc.), ceea ce le face foarte indicate pentru utilizări industriale. Ele sînt folosite pentru comanda circuitelor electrice ale mașinilor-unelte, ca întreruptoare și comutatoare pe panouri și pupitre de comandă și ca întreruptoarele capsulate.

● **La montare și întreținere** trebuie să se țină seama că :

— întreruptoarele pachet sînt destinate să funcționeze în interiorul încăperilor, în spații lipsite de praf, umezeală sau agenți chimici corosivi ;

— dacă întreruptorul este de construcție deschisă (cazul cel mai frecvent), se va monta în spatele tablourilor sau în nișele mașinilor-unelte etc., astfel, încît numai butonul de comandă să fie accesibil.

5. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE CU CAME

Din punct de vedere constructiv, acestea se aseamănă mult cu întreruptoarele pachet, fiind obținute tot prin alăturarea unui număr variabil de elemente cu căi de curent identice. Deschiderea și închiderea contactelor mobile este, de asemenea, realizată prin acționarea unui ax central comun. Ele diferă de primele prin faptul că la întreruptoarele pachet contactul mobil este fixat pe axul de acționare și se deplasează o dată cu acesta, pe cînd la întreruptoarele cu came, pe ax sînt montate numai niște came din material izolant, care rotindu-se o dată cu axul de acționare, determină separarea sau apropierea contactelor.

Aceste aparate se folosesc în special drept comutatoare, putîndu-se realiza cu ușurință diferite scheme.

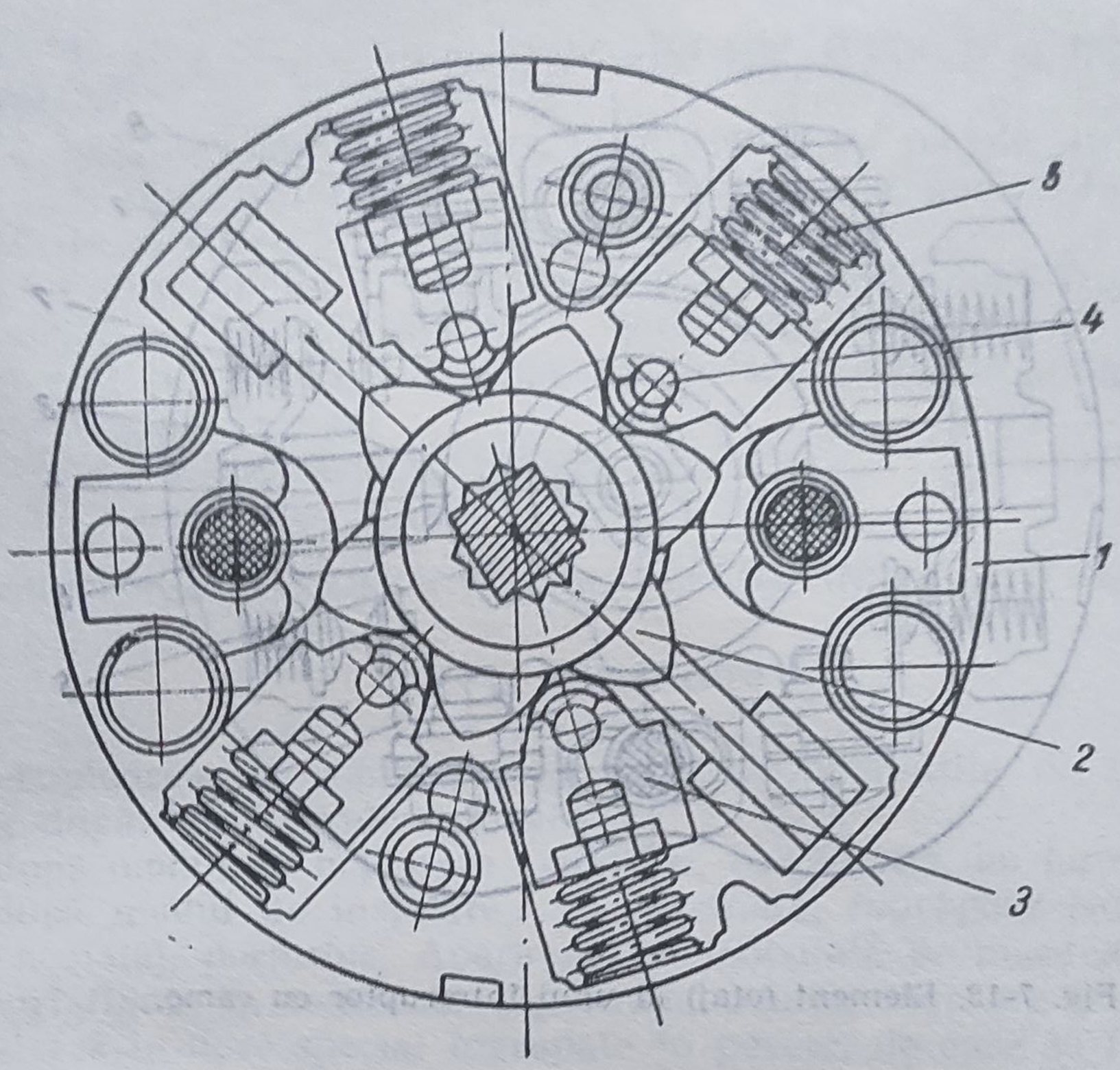


Fig. 7-12. Dispozitivul de sacadare al întreruptoarelor cu came.

● **Construcţia.** *Comutatorul cu came* sé compune în esenţă din trei părţi distinote : dispozitivul de sacadare, plăcile de etaj cu contactele fixe şi mobile, mînerele şi plăcile frontale.

Dispozitivul de sacadare (fig. 7-12) se compune din carcasa de sacadare *1*, cama de sacadare *2*, căruciorul *3*, rola de sacadare *4* şi resortul de sacadare 5.

Dispozitivul de sacadare permite trecerea camelor de pe o poziţie pe alta, realizînd aşa zisele poziţii ferme de sacadare şau poziţii cu revenire.

Dispozitivul de sacadare se montează la partea superioară a comutatorului. Fixarea comutatorului pe panou se face prin intermediul unui capac ce se asamblează cu dispozitivul de sacadare.

Plăcile de etaj cu contactele fixe şi mobile (fig. 7-13) pe care se găsesc montate contactele fixe ale comutatorului sînt dispuse una peste alta şi sînt în număr diferit de la un comutator la altul. Pe placa de etaj se găsesc cele patru contacte fixe *1*, *2* stînga-dreapta.

În interiorul plăcii de etaj se poate roti cama 5 care acţionează contactele mobile *3*.

Mişcarea de translaţie a contactelor mobile se realizează prin intermediul piesei glisante *4* care este acţionată de cama 5 prin intermediul rolei *6*.

Forţa de apăsare în contact este dată de resoartele 7. Prin intermediul bornelor *8* se realizează conexiunile dorite.

Camele de diverse profile sînt acţionate prin intermediul axului comutatorului, pe care se fixează *mînerul de acţionare*.

În figura 7-14 este reprezentat un comutator cu came.

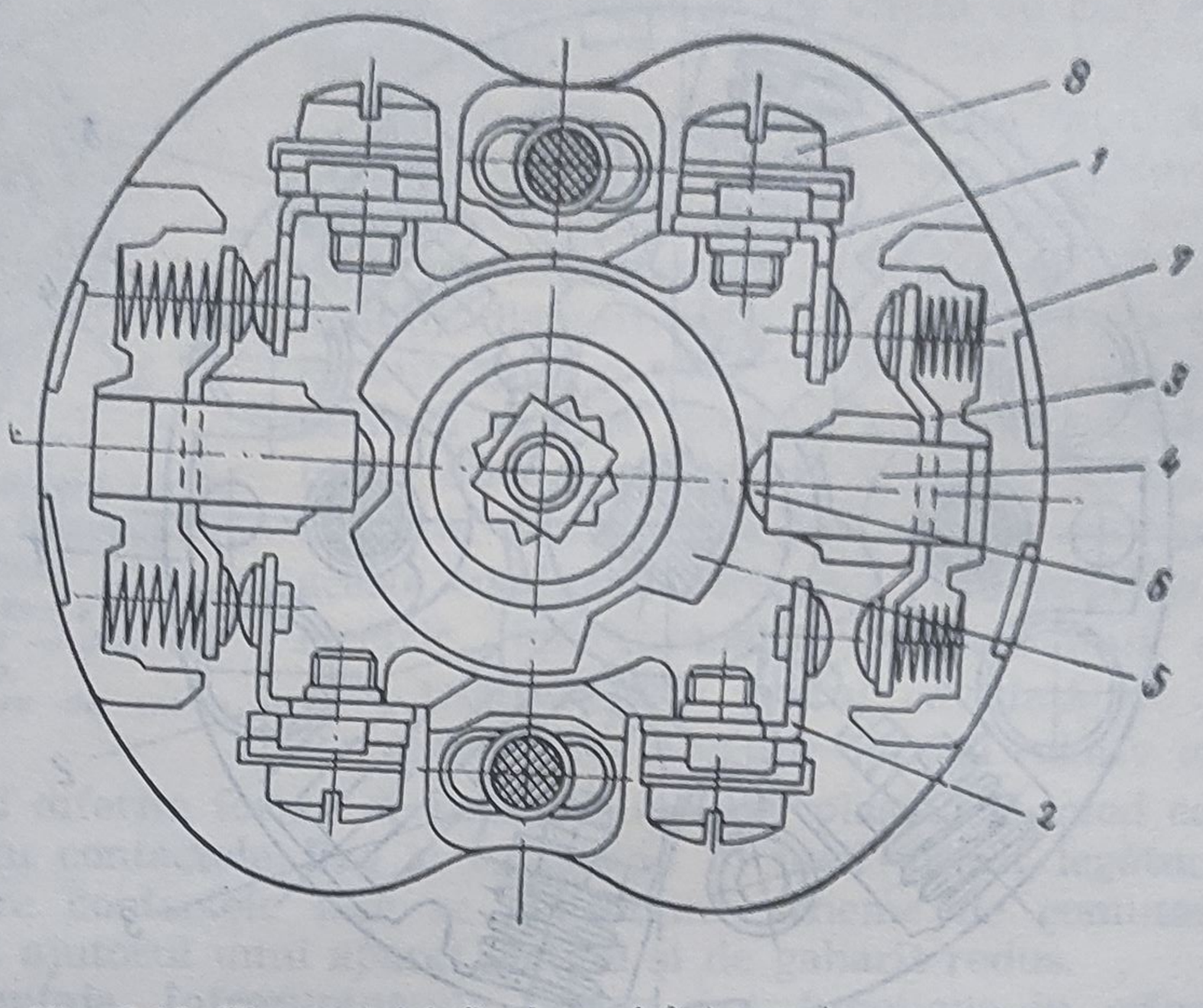


Fig. 7-13. Element (etaj) al unui întreruptor cu came.

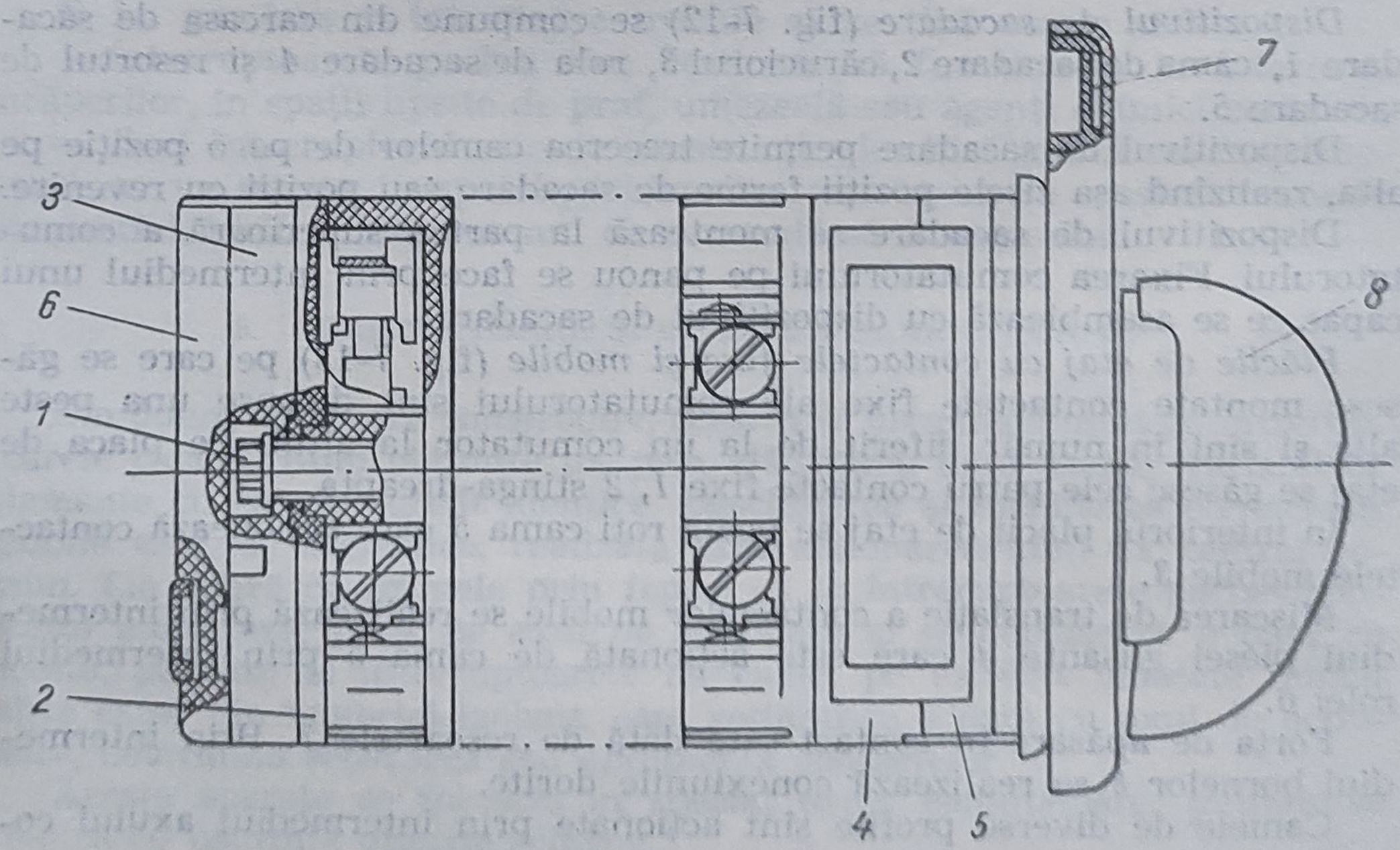


Fig. 7-14. Construcția unui comutator cu came.

Plăcile de etaj dispuse una peste alta sînt fixate prin intermediul a două șuruburi *1*.

Aceste șuruburi speciale fixează împreună cu plăcile de etaj, placa de capăt *2* și placa intermediară *3* la un cap, iar sistemul de-scandare *4* și capacul de sacadare *5* la celălalt capăt.

La unul din capetele comutatorului se fixează placa izolantă 6. La celălalt capăt se fixează capacul 7, care conține găurile de montare a comutatorului pe panou. Pe capac se fixează placa izolatoare frontală împreună cu placa izolată.

Mînerul de acționare *8* se fixează pe ax.

6. ÎNTRERUPTOARE ȘI COMUTATOARE PENTRU INSTALAȚII DE ILUMINAT

a. Clasificare

Întreruptoarele și comutatoarele pentru instalațiile de iluminat se clasifică după următoarele criterii :

- **după modul de acționare :** *rotative, basculante, cu buton, cu lanț ;*
- **după modul de instalare :** *pe tencuială, îngropate* (sub tencuială și în tencuială), *portative*. Aparatele pe tencuială se montează aparent, pe dibluri fixate în tencuială. Aparatele pentru montare sub tencuială se instalează în doze special îngropate în perete, de care se fixează prin gheare speciale. Aparatele pentru montarea „în tencuială" se introduc în doze speciale de masă plastică, îngropate în tencuială, pentru instalațiile la care conductele electrice sînt montate direct în tencuială, fără tuburi de protecție ;
- **după protecția mecanică :** *normale, impermeabile sub tencuială* (flanș), *capsulate în carcasă metalică, capsulate în carcasă de bachelită* (antigron) ;
- **după numărul de poli** : *unipolare, bipolare, tripolare ;*
- **după conexiunile pe care le realizează** : *întreruptoare unipolare, bipolare* și *tripolare, comutatoare serie* (de lustre), *comutatoare grup* (de hotel), *comutatoare de scară, comutatoare cruce ;*
- **după tipul constructiv,** întreruptoarele și comutatoarele pentru instalații de iluminat sînt *rotative, basculante, cumpănă.*

b. Construcție

Contactele sînt realizate din lamele metalice. Presiunea în contact este asigurată fie datorită elasticității lamelelor de contact, fie printr-un resort elicoidal care presează una din lamele peste cealaltă. Pentru a asigura depărtarea suficient de rapidă a contactelor la deschidere, se folosește un mecanism de sacadare.

Aparatele rotative au 2—4 contacte fixe, montate pe un soclu izolant, de porțelan sau steatită, între care se rotește un tambur ce poartă contactele mobile. Prin rotirea butonului de acționare, tamburul este rotit și stabilește sau desface diferite contacte. Rotirea bruscă a tamburului este realizată de către un mecanism de sacadare.

La întreruptoarele basculante, contactele fixe sînt așezate unul lîngă altul. Legătura de contact se realizează prin pătrunderea contactului mobil între ele.

La întreruptoarele „cumpănă", contactul mobil este fixat de o pîrghie care este acționată de către un resort elicoidal fixat într-un buton basculant. Apăsînd pe una din extremitățile butonului, resortul întîi este comprimat, pînă se ajunge la un moment în care pîrghia cu contactul mobil sare brusc în cealaltă poziție.

Intreruptoarele basculante și cumpănă au avantajul că manevrarea lor este mult mai ușoară și rezistența lor la uzură mecanică mai mare.

c. Scheme de comutare

Avantajul întreruptoarelor și comutatoarelor rotative constă în faptul că se pot realiza scheme de comutări mult mai variate și se pot realiza în execuții etanșe, pentru folosirea în medii cu umiditate, praf, pericol de explozii.

● Intreruptoarele și comutatoarele permit realizarea unei mari varietăți de **scheme de comutare,** indicate în figura 7-15.

Schemele de conexiuni ale întreruptoarelor sînt simple și nu necesită explicații. Astfel *comutatorul hotel* permite aprinderea unui singur bec din cele două eliminate prin el, în scopul reducerii consumului de energie electrică. *Comutatorul de corpuri de iluminat* realizează aprinderea separată a fiecărui bec sau aprinderea simultană a celor două becuri ale corpului de iluminat. Cu ajutorul *comutatoarelor scară* se poate aprinde sau stinge un bec din oricare capăt al scării, indiferent de poziția comutatorului din celălalt capăt al scării. Pentru a permite și manevrarea dintr-un punct intermediar (de exemplu palierul între etajele externe) se utilizează comutatoarele cruce.

● **Moduri de execuție.** După modul de protecție a comutatoarelor împotriva loviturilor mecanice sau a pătrunderii umidității se deosebesc:

— *aparate normale,* avînd carcasa din bachelită sau din porțelan;

— *aparate, impermeabile sub tencuială,* destinate instalării în băi bucătării sau alte spații similare, cu atmosferă bogată în vapori de apă, care au capacul și butonul din porțelan fiind prevăzute și cu garnituri speciale de cauciuc, pentru a evita pătrunderea umidității în aparat:

— *aparate capsulate în carcasă metalică,* destinate a fi folosite la exterior sau în alte locuri unde aparatul poate fi deteriorat prin lovire (grajduri, ateliere etc.), care se execută prin introducerea unui aparat normal într-o carcasă metalică (fontă, aluminiu etc.);

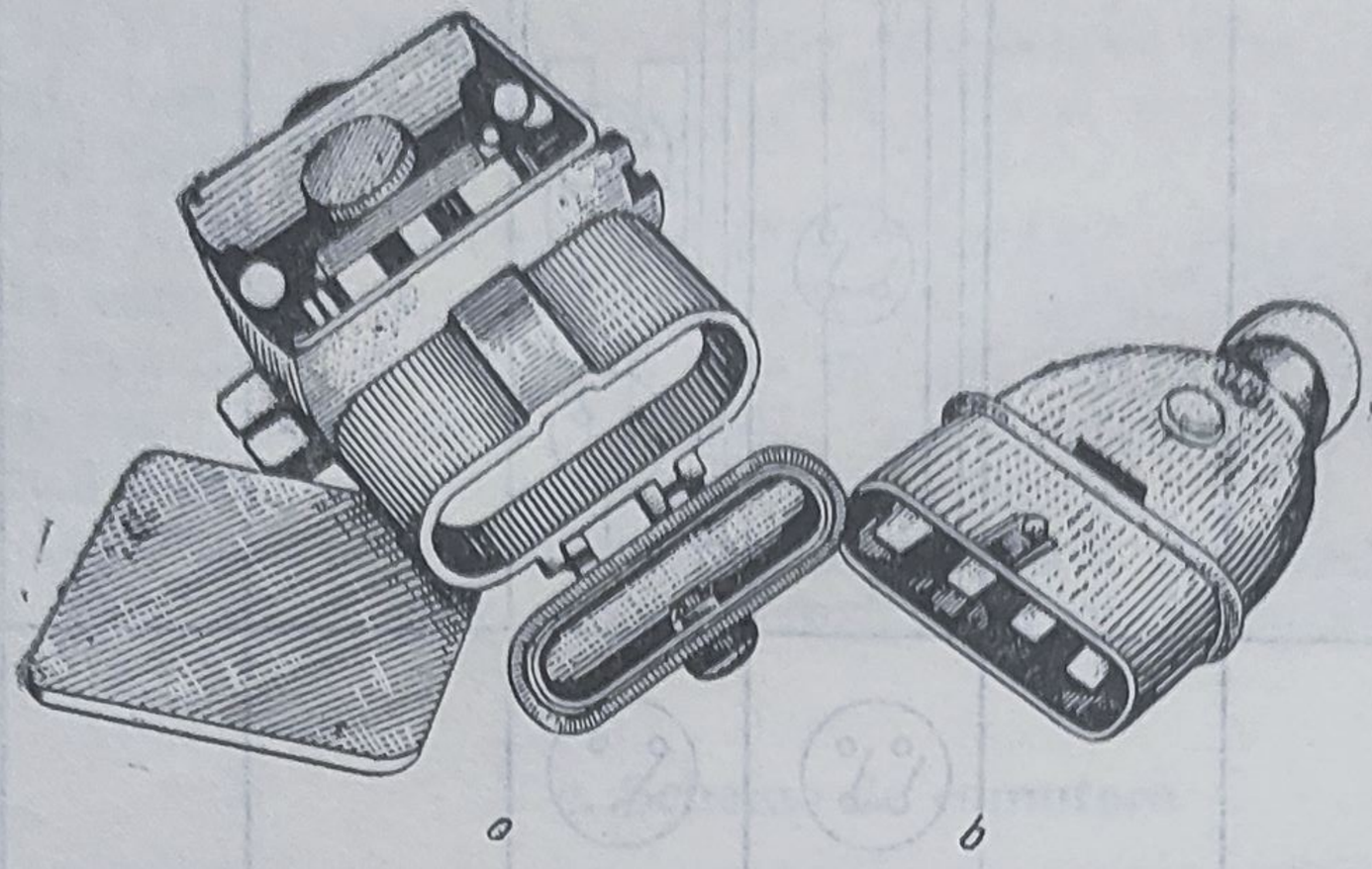
— *aparate capsulate în carcasă de bachelită,* de construcție aparentă, destinate a fi folosite în spații umede (subsoluri, pivnițe etc.), fiind prevăzute și cu garnituri de etanșare din cauciuc.

7. PRIZE, FIȘE ȘI CUPLE

Prizele și fișele se utilizează pentru conectarea la rețele de joasă tensiune a anumitor consumatori mobili.

7-15. Scheme realizate de întreruptoare și comutatoare pentru instalații de iluminat.

Nr. crt.	Denumirea aparatului	Schema de conexiuni									
		APARATE CUMPĂNĂ									
		a aparatului	la releu								
		APARATE BASCULANTE									
		a aparatului	la releu								
		APARATE ROTATIVE									
		a aparatului	la rețea								
1	Întreruptor unipolar										
2	Întreruptor bipolar										
3	Întreruptor tripolar										
4	Comutator hotel										
5	Comutator corpuri de iluminat										
6	Comutator scară										
7	Comutator cruce										



a *b*

Fig. 7-16. Priză și fișă pentru instalații industriale :
a — priză cu capacul demontat ; b — fișă.

● **După numărul fazelor conectate,** prizele și fișele pot fi : *monofazate cu doi poli, monofazate cu doi poli și contact de protecție pentru legarea la pămînt a instalației, trifazate cu trei poli și cu contact de protecție* și *prize multipolare* folosite în general pentru circuite de comandă. Prizele și fișele corespunzătoare au același număr de poli.

● **După domeniul de utilizare și intensitatea nominală** se deosebesc prize și fișe pentru instalații și prize și fișe industriale.

Prizele și fișele pentru instalații se utilizează, în general, pentru conectarea la rețea a consumatorilor casnici de energie electrică (lămpi portative, aparate electrocasnice și medicale etc.) și se construiesc pentru intensitatea nominală pînă la 10 A.

Prizele pentru instalații se pot monta aparent, îngropat sau în tencuială (intenc).

După modul de protecție, ele pot fi normale, impermeabile sub tencuială, avînd capac de porțelan, protejate în carcasă metalică, protejate în carcasă de bachelită.

Prizele și fișele industriale (fig. 7-16) servesc la conectarea la rețea a consumatorilor din industrie (ca motoare trifazate, grupuri de sudură etc.) și se construiesc pentru curenți de 25 și de 60 A. Datorită acestor condiții grele de lucru, ele sînt de o execuție mai robustă, numai pentru montaj aparent cu carcasă de bachelită, de fontă sau de aliaje de aluminiu.

Prizele și fișele bipolare pot fi cu sau fără contact de protecție.

Prizele tripolare sînt executate numai cu contact de protecție. Aparatele prevăzute cu contact de protecție au o bornă în plus, care se leagă la conductorul de nul de protecție al instalației sau direct la instalația de legare la pămînt. Piciorul de contact al fișei destinat racordării utilajului la conductorul de protecție al instalației este mai lung, astfel că la introducerea fișei în priză legătura de protecție se stabilește în avans față de conectarea la rețeaua de alimentare.

Construcția prizelor (fig. 7-17) este astfel realizată încît introducerea fișei să nu se poată face decît în poziția corectă (cînd contactul de protecție se stabilește în mod corespunzător).

Cuplele sînt prize mobile care au o construcție asemănătoare cu a prizelor fixe, deosebindu-se de acestea prin următoarele elemente con-

structive : nu sînt prevăzute cu dispozitive de fixare şi au bride pentru fixarea mecanică a cordoanelor de alimentare.

La prizele şi fişele trifazate, cu trei sau cu patru poli, găurile, respectiv ştifturile de contact, sînt aşezate astfel încît polaritatea să nu poată fi schimbată.

Pentru conectarea la priză a aparatelor electrocasnice se foloseşte un cordon flexibil, avînd la un capăt o fişă care se introduce în priză, iar la celălalt capăt o priză specială, numită *priză pentru aparate*, care se introduce în casa de borne a acestor aparate.

Trebuie reţinut faptul că *prizele şi fişele sînt numai aparate de conectare şi nu au putere de rupere*. Este interzis să se întrerupă curentul prin scoaterea fişei. Pentru întreruperea curentului este necesar să se monteze în circuit un aparat de întrerupere corespunzător.

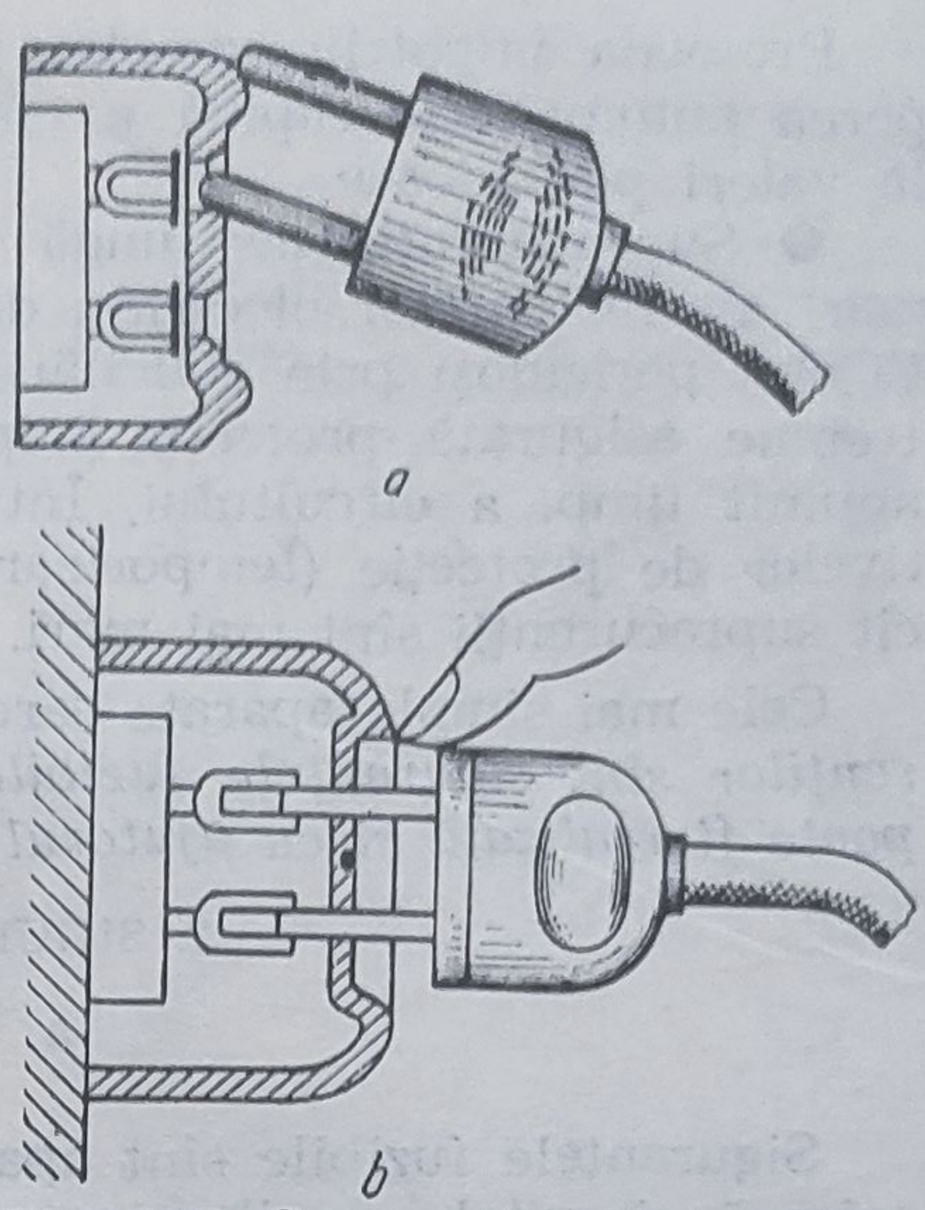


Fig. 7-17. Construcţia prizelor :
a — imposibilitatea introducerii fişei cu un singur ştift de contact ; b — protecţia contra atingerii părţilor sub tensiune.

E. APARATE PENTRU PROTECŢIA INSTALAŢIILOR ŞI MAŞINILOR ELECTRICE

1. GENERALITĂŢI

Orice instalaţie electrică este caracterizată din punct de vedere electric prin tensiunea nominală, curentul nominal, frecvenţa nominală. Există însă situaţii anormale în reţele, caracterizate în special prin abateri ale tensiunii sau curentului de la valorile nominale.

Pentru instalaţiile de joasă tensiune, cele mai periculoase abateri sînt *creşterile curentului* peste valoarea nominală, *provocate de suprasarcini* sau *de funcţionarea anormală a consumatorilor* din reţea. Orice creştere a curentului unei instalaţii peste valoarea curentului nominal se numeşte *supracurent*.

Supracurenţii pot fi de foarte scurtă durată, de scurtă durată şi de durată.

● **Supracurenţii de foarte scurtă durată** sînt cauzaţi în general de apariţia unor defecte trecătoare, de comutări şi de alte schimbări bruşte din circuit şi nu sînt periculoşi. Supracurenţii de scurtă durată sînt produşi de scurtcircuite. Urmările lor sînt grave, ei cauzînd aparatelor solicitări termice şi mecanice foarte mari. De asemenea, pot apărea căderi de tensiune importante care împiedică funcţionarea normală şi la aparatele nestrăbătute de curenţii de scurtcircuit.

Protecția împotriva acestor supracurenți se realizează prin întreruperea automată și rapidă a circuitului, înainte ca curentul să ajungă la valori periculoase.

● **Supracurenții de lungă durată** apar datorită încărcărilor prea mari ale motoarelor electrice, datorită funcționării lor în două faze etc. Ei sînt periculoși prin solicitările termice pe care le produc ; de aceea, trebuie asigurată protecția împotriva lor prin întreruperea, după un anumit timp, a circuitului. Întîrzierea intrării în funcțiune a dispozitivelor de protecție (temporizarea) trebuie să fie cu atît mai mică cu cît supracurenții sînt mai mari.

Cele mai simple aparate care realizează *protecția împotriva supracurenților sînt siguranțele fuzibile*. Protecția împotriva *suprasarcinilor poate fi realizată și cu ajutorul releelor de protecție.*

2. SIGURANȚE FUZIBILE

a. Funcționare

Siguranțele fuzibile sînt aparate cu întrerupere automată, care protejează circuitele de iluminat și de forță împotriva efectelor termice și dinamice produse de curenții de suprasarcină și scurtcircuit.

Siguranțele fuzibile se caracterizează printr-o construcție foarte simplă și robustă, care are încorporat ca element de protecție *fuzibilul* — un fir sau o lamelă conductoare, montat în serie cu obiectul de protejat. Pînă la o anumită valoare a curentului, elementul fuzibil este astfel calibrat încît nu produce întreruperea continuității circuitului. În cazul curenților de scurtcircuit și la suprapresiuni mari, materialul din care este confecționat fuzibilul, se topește și întrerupe curentul, realizînd protecția. Pentru a se asigura o bună protecție, un fuzibil de calitate trebuie să se topească rapid. După fiecare acționare, elementul fuzibil topit trebuie înlocuit, conectarea siguranței (restabilirea circuitului) făcîndu-se deci neautomat.

b. Tipuri de siguranțe

După mediul în care se realizează întreruperea și după soluția constructivă, diferitele tipuri de siguranțe fuzibile de joasă tensiune se grupează în :

— *siguranțe cu întrerupere în aer* (deschis, cu mîner și tubulare) ;

— *siguranțe cu întrerupere în nisip* (siguranțe de instalații cu filet și siguranțe de mare putere).

● **Siguranțele fuzibile deschise** (fig. 7-18, *a*) sînt acele siguranțe fuzibile la care firul fuzibil este întins între două contacte în aer liber, neprotejat, ele sînt folosite din ce în ce mai puțin, deoarece au putere de rupere redusă și pot provoca accidente și scurtcircuite prin împrăștierea materialului topit.

● **Siguranțele fuzibile cu mîner** (fig. 7-18, *b*) sînt siguranțe fuzibile deschise la care, pentru a se putea înlocui firul fuzibil sub ten-

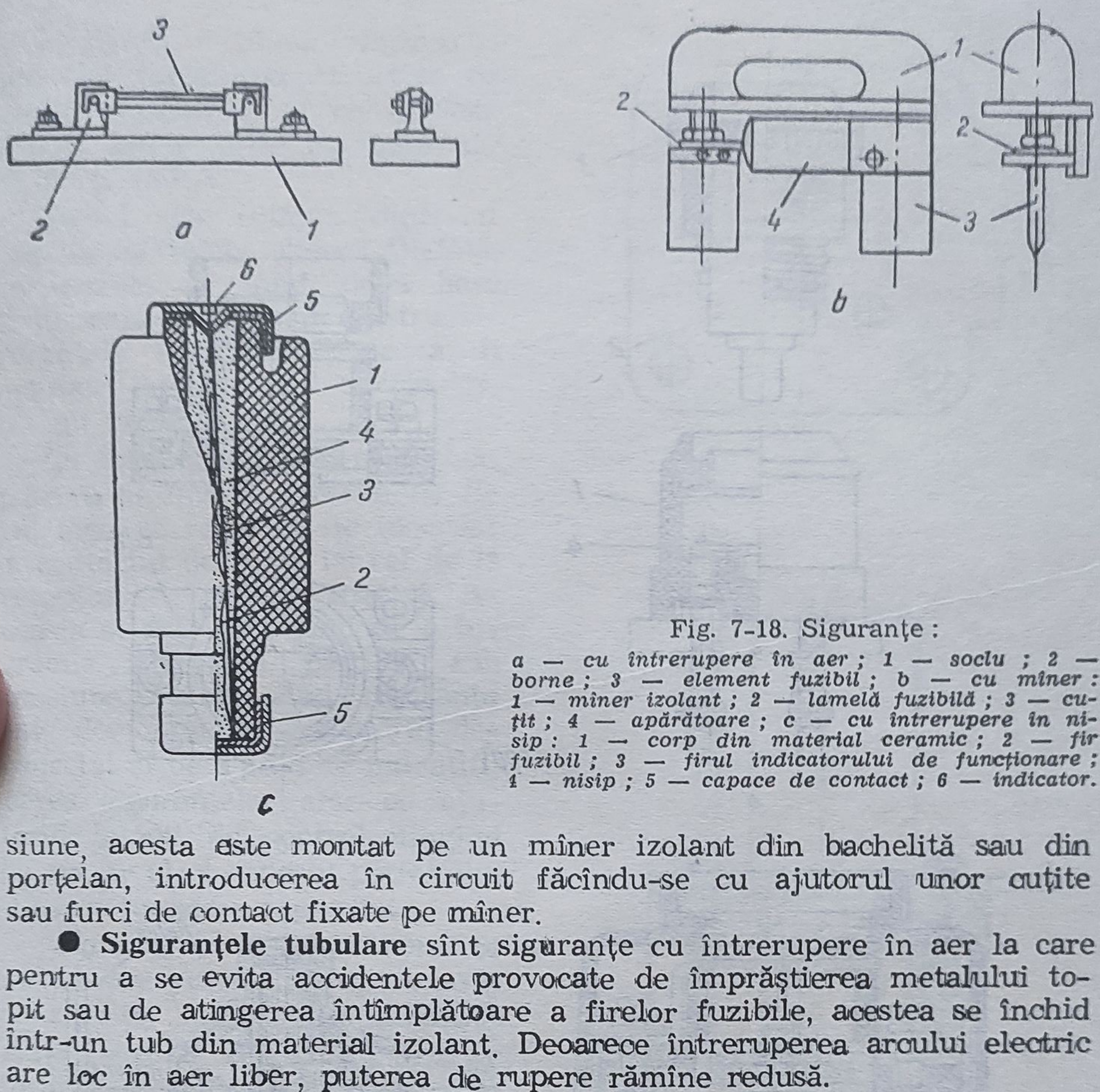


Fig. 7-18. Siguranțe :

a — cu întrerupere în aer ; 1 — soclu ; 2 — borne ; 3 — element fuzibil ; b — cu mîner : 1 — mîner izolant ; 2 — lamelă fuzibilă ; 3 — cuțit ; 4 — apărătoare ; c — cu întrerupere în nisip : 1 — corp din material ceramic ; 2 — fir fuzibil ; 3 — firul indicatorului de funcționare ; 4 — nisip ; 5 — capace de contact ; 6 — indicator.

siune, acesta este montat pe un mîner izolant din bachelită sau din porțelan, introducerea în circuit făcîndu-se cu ajutorul unor cuțite sau furci de contact fixate pe mîner.

● **Siguranțele tubulare** sînt siguranțe cu întrerupere în aer la care pentru a se evita accidentele provocate de împrăștierea metalului topit sau de atingerea întîmplătoare a firelor fuzibile, acestea se închid într-un tub din material izolant. Deoarece întreruperea arcului electric are loc în aer liber, puterea de rupere rămîne redusă.

● **Siguranțele cu filet** sînt cele mai folosite în instalații, pentru protecția circuitelor de lumină și forță de intensități mijlocii (6—100 A). Sînt formate din patru elemente (fig. 7-18, *c*) :

— soclul *1* din porțelan, prevăzut cu borne de legare la circuitul exterior ;

— patronul fuzibil *2*, alcătuit dintr-un tub de porțelan de o anumită formă, umplut cu nisip și închis la capete cu un capac de contact. Firele fuzibile sînt întinse în masa de nisip (între capacele de contact) ;

— piesa de contact *4*, cu diametru interior calibrat, avînd rolul de a permite introducerea numai a patroanelor pînă la o anumită intensitate corespunzătoare circuitului protejat și de a împiedica introducerea unor patroane de intensitate nominală mai mare (care nu ar putea asigura o protecție corectă) ;

— capacul filetat *3*, cu rolul de a închide patronul, realizînd totodată presiunea necesară de contact și circuitul electric de la capacul superior al patronului la una din bornele soclului.

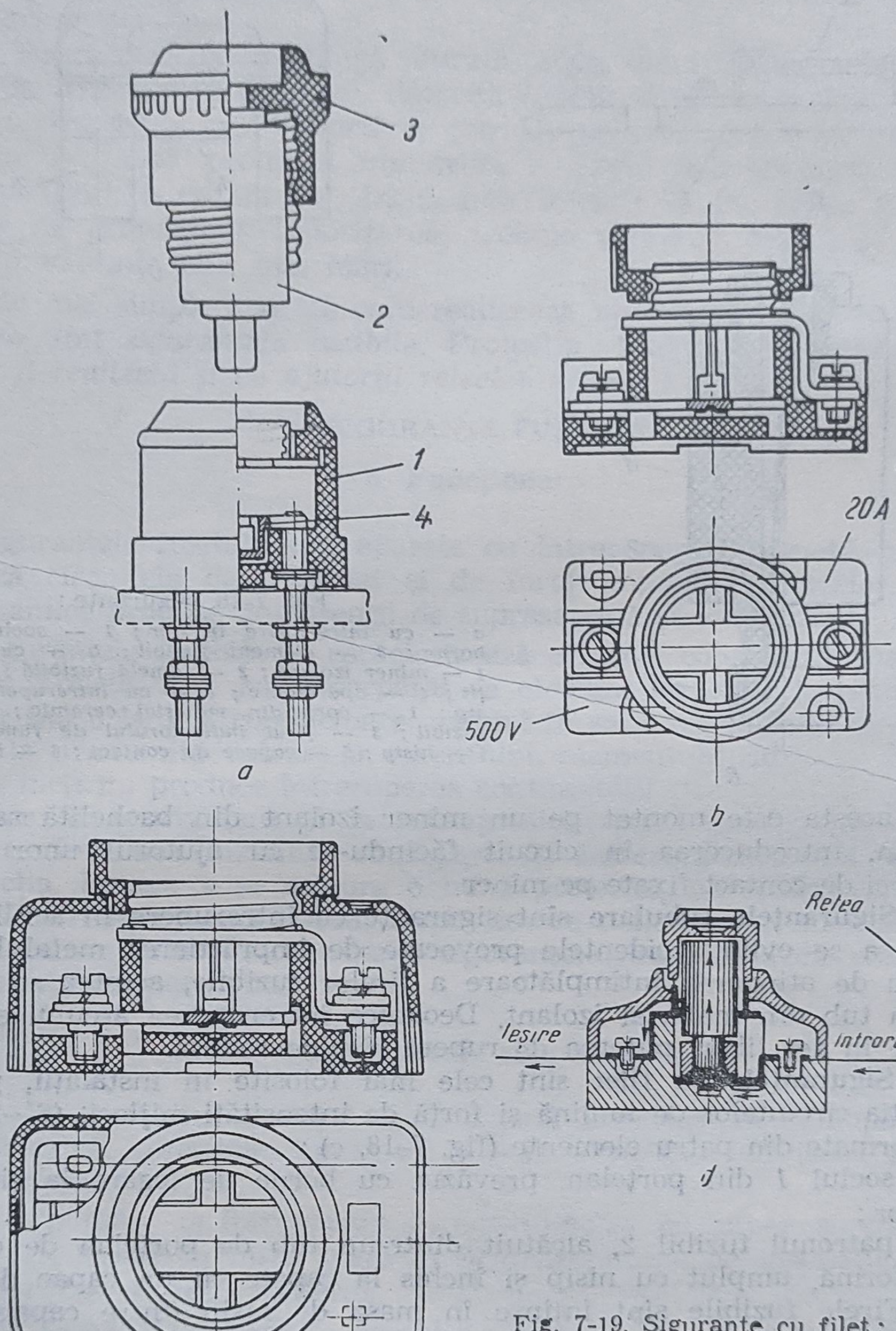


Fig. 7-19. Siguranțe cu filet :
a — siguranță monopolară cu filet completă (soclu LS) ; b — soclu L.F.I ; c — soclu L.F ; d — legarea la rețea.

c. Socluri

Din punctul de vedere al montării pe panou, soclurile pot fi de următoarele *tipuri :*

— *cu legături în spate* (L.S.) ;

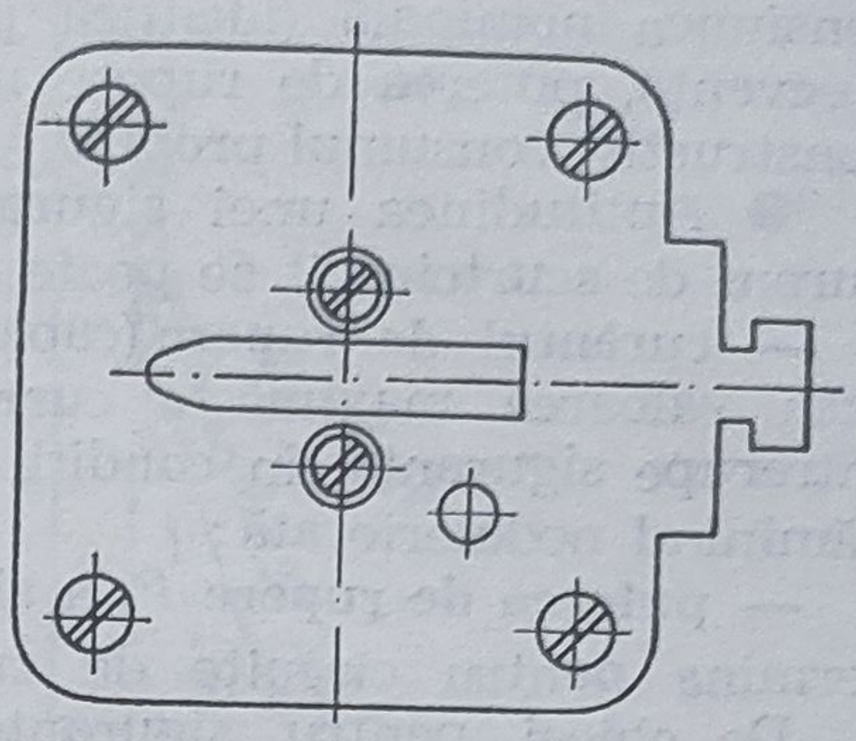
— *cu legături în față* (L.F.L.F.I.).

În figura 7-19 sînt reprezentate trei variante constructive de socluri. Soclurile se construiesc pentru intensităţile nominale de 25, 60 şi 100 A.

Soclul este compus dintr-un corp de porţelan, o teacă filetată, un contact de fund, două bare şi un capac. Soclurile pentru siguranţele L.F.I., destinate a fi montate în interiorul aparatelor, nu au capac.

La montarea siguranţelor cu patron cu fuzibil, trebuie ca firul legat la reţea să fie racordat la contactul de fund, iar cel de la receptor — la teaca filetată. Aceasta se face în scopul de a îngreuna atingerea părţilor sub tensiune atunci cînd siguranţa este demontată şi receptorul deconectat şi de a permite indentificarea siguranţelor arse cu ajutorul lămpii de control, atingînd cu un fir al ei capacul patronului dinspre fereastra capacului.

Siguranţele de joasă tensiune cu o mare putere de rupere au o construcţie specială, putînd întrerupe curenţii de scurtcircuit de ordinul zecilor de kiloamperi. Ele sînt formate dintr-un tub ceramic foarte rezistent, umplut cu nisip şi închis la capete prin capace metalice (fig. 7-20). Firele fuzibile sînt trecute prin nisip de la un capac la celălalt şi sudate de acestea.



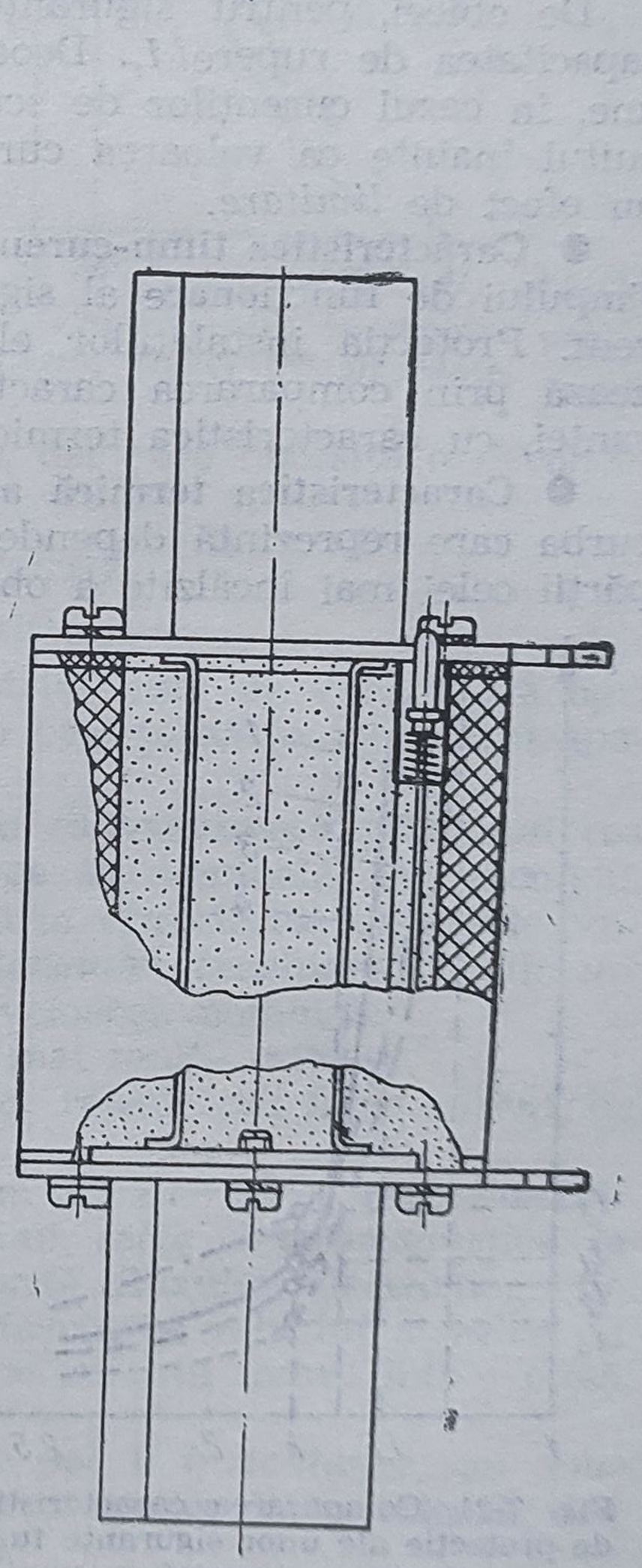


Fig. 7-20. Siguranţe cu mare putere de rupere.

d. Proprietăţile şi performanţele siguranţelor fuzibile

Siguranţele fuzibile sînt definite prin următoarele mărimi : curentul nominal al soclului, curentul nominal al elementului fuzibil,

tensiunea nominală (identică pentru soclu și fuzibil), felul curentului, frecvența, puterea de rupere nominală, curentul limită de topire, tipul constructiv, consumul propriu.

● Aptitudinea unei siguranțe fuzibile de a întrerupe un anumit curent de scurtcircuit se poate exprima prin :

— **curentul de rupere** (capacitatea de rupere) I_r al siguranței, indicat prin valoarea maximă a curentului de scurtcircuit pe care îl poate întrerupe siguranța, în condiții de încercare precizate de norme, aceasta rămînînd nedeteriorată ;

— **puterea de rupere** P_r a siguranței la scurtcircuit, care se poate determina pentru circuite de curent alternativ din relația $P_r = \sqrt{3} U_n I_r$.

De obicei, pentru siguranțele de joasă tensiune se indică numai capacitatea de rupere I_r. Deoarece siguranțele fuzibile de joasă tensiune, în cazul curenților de scurtcircuit, se topesc și deci întrerup circuitul înainte ca valoarea curentului să devină maximă, se spune că au efect de *limitare*.

● **Caracteristica timp-curent** (de protecție) $t = f(I)$ reprezintă variația timpului de funcționare al siguranțelor fuzibile în funcție de supracurent. Protecția instalațiilor electrice prin siguranțe fuzibile se realizează prin compararea caracteristicii de protecție a fuzibilului siguranței, cu caracteristica termică a obiectului protejat.

● **Caracteristica termică a unui obiect din instalația electrică** este curba care reprezintă dependența dintre timpul după care temperatura părții celei mai încălzite a obiectului atinge valoarea limită admisibilă, și valoarea supracurentului.

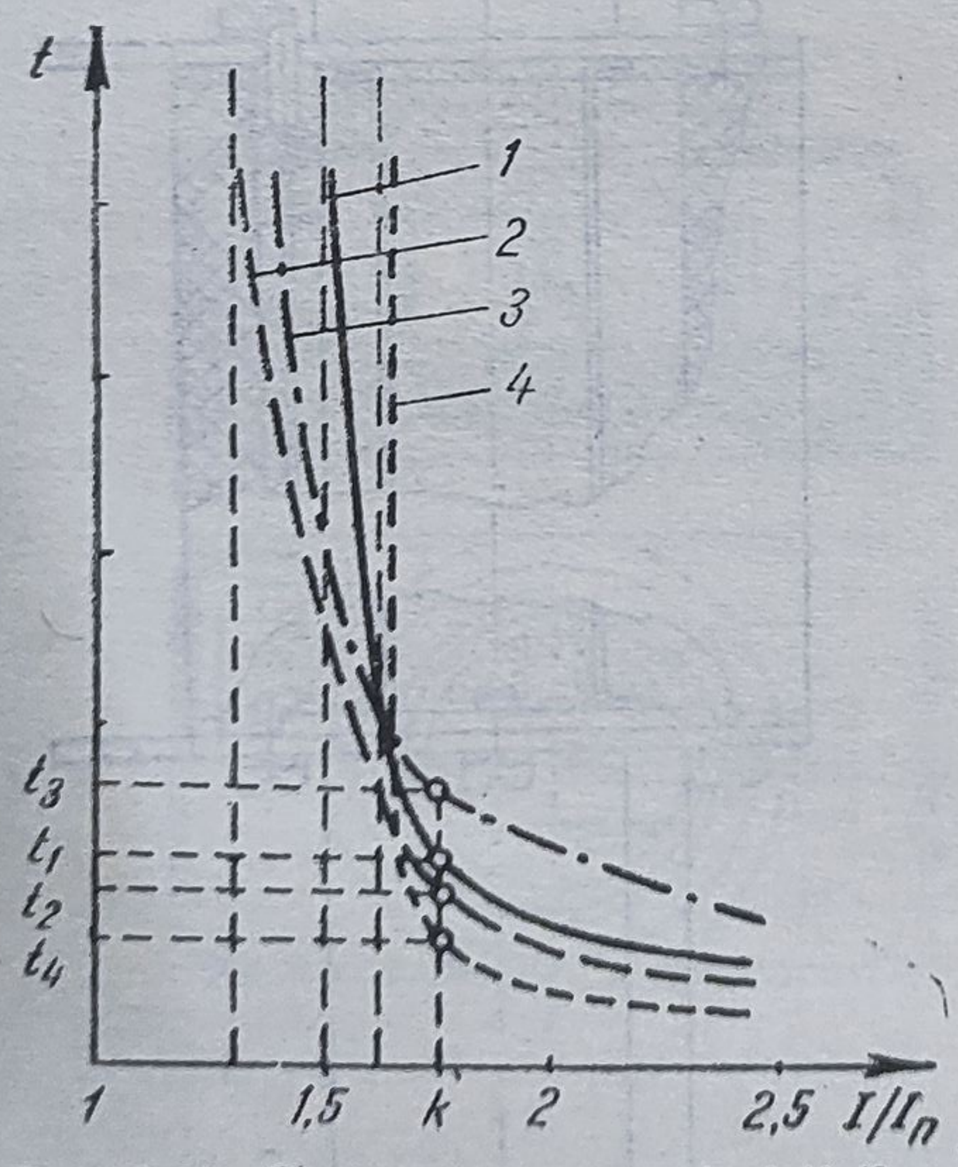


Fig. 7-21. Compararea caracteristicilor de protecție ale unor siguranțe fuzibile cu caracteristica termică a unui element de instalație :

1 — caracteristica termică a obiectului de protejat ; 2, 3, 4 — caracteristici de protecție.

În figura 7-21 este reprezentat modul în care caracteristica de protecție influențează asupra protecției unui obiect din instalație. În cazul curbei 2, care se află tot timpul sub caracteristica termică *1*, protecția obiectului de protejat (transformator, cablu, motor etc.) este eficace pentru orice valoare a supracurentului din circuitul avariat, adică fuzibilul se topește înainte ca obiectul protejat să atingă temperatura limită admisibilă. Siguranța avînd caracteristica *3* protejează obiectul numai la supracurenți mici, iar cea cu caracteristica *4* — numai la supracurenți mari.

În figura 7-22 sînt reprezentate patru **caracteristici de topire,** aparținînd siguranțelor de joasă tensiune :

— *caracteristica de topire inertă (cu întîrziere) A*, ce se recomandă

în cazul receptoarelar cu vîrfuri de curent de durată relativ scurtă (motoare asincrone, transformatoare de forță, condensatoare de forță etc.) ;

— *caracteristica de topire rapidă B*, ce se recomandă la protecția cablurilor, conductelor și în general a instalațiilor în care nu se produc vîrfuri mari de sarcină ;

— *caracteristica de topire ultrarapidă C*, care se folosește cu succes la protecția receptoarelor cu capacitate termică redusă ca, de exemplu, în cazul redresoarelor cu germaniu și siliciu ;

— *caracteristica de topire mixtă (inert-rapid) D*, care se recomandă pentru protecția instalațiilor unde se folosesc motoare asincrone cu regim greu de pornire, dar care necesită o deconectare rapidă la scurtcircuit.

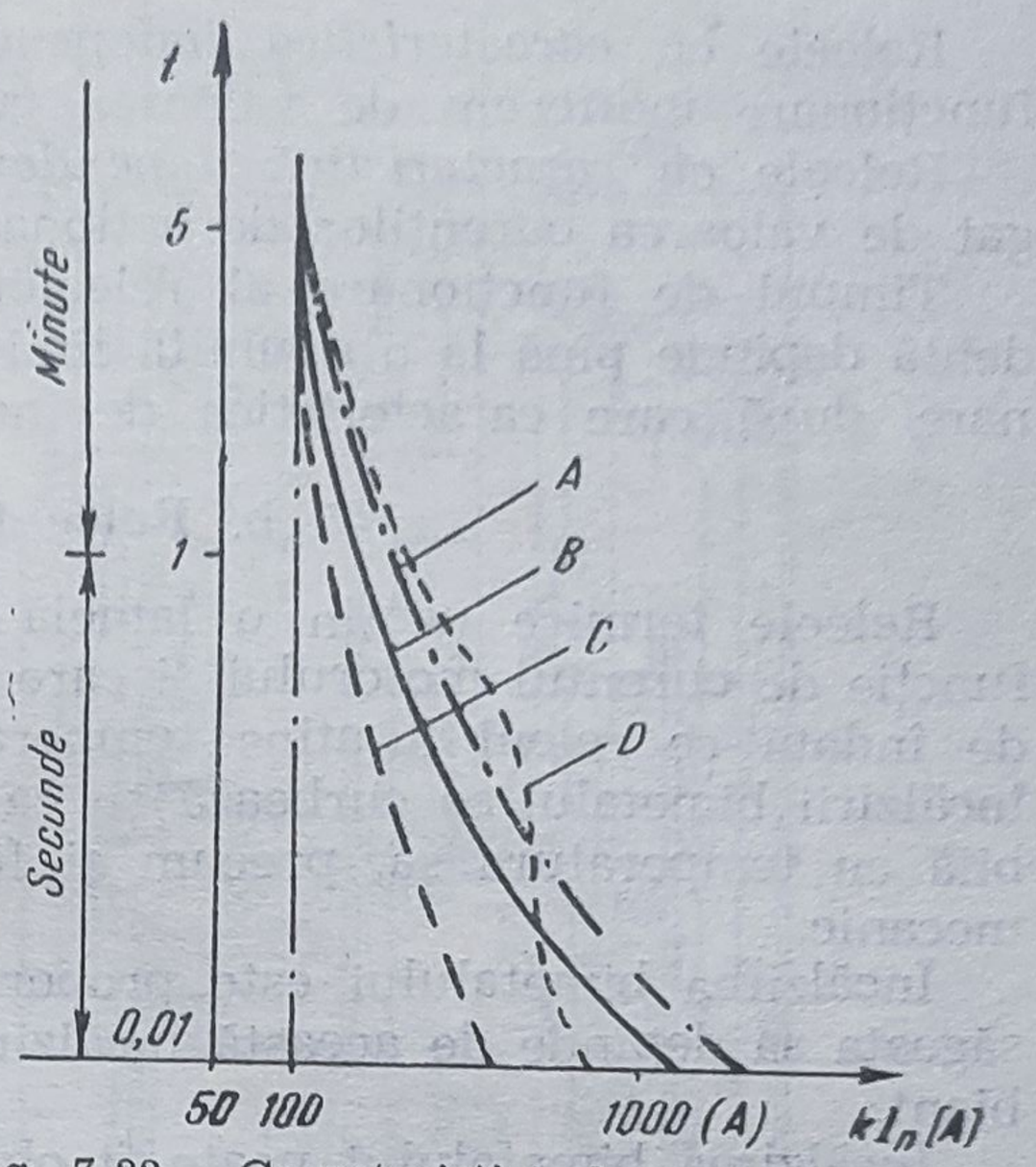


Fig. 7-22. Caracteristici de topire pentru diferite tipuri de siguranțe.

3. RELEE DE PROTECȚIE

a. Definire și clasificare

Releele de protecție sînt aparate electrice care au rolul de a opri funcționarea instalației electrice pe care o protejează în momentul apariției unui regim anormal de funcționare.

Regimurile anormale de funcționare se caracterizează prin abaterea unei mărimi de funcționare de la valoarea sa nominală. De exemplu, în *regimul de supracurent*, curentul electric din circuit depășește valoarea sa nominală iar în *regimul de subtensiune*, tensiunea de alimentare a instalației considerate scade sub valoarea nominală.

Releele de protecție *se clasifică* după mai multe criterii.

● **După mărimea electrică de acționare,** releele pot fi *de curent, de tensiune, de putere* etc.

● **După principiul constructiv** deosebim *relee termice*, care funcționează pe baza efectului termic al curentului, *relee electromagnetice*, la care forța de acționare se produce datorită fluxului electromagnetic produs de curentul sau tensiunea din înfășurarea releului și *relee de inducție*, la care funcționarea se bazează pe curenții induși într-o piesă destinată acestui scop.

● **După timpul de funcționare,** releele pot fi *instantanee* sau *temporizate*, acestea din urmă putînd avea caracteristica independentă, dependentă sau limitat dependentă.

● **Caracteristica de funcționare** reprezintă variația timpului de funcționare în funcție de curent, pentru un anumit reglaj al temporizării.

Releele cu *caracteristică independentă* au practic același timp de funcționare indiferent de valoarea curentului.

Releele *cu caracteristică dependentă* au timpul de funcționare legat de valoarea curenților de acționare.

Timpul de funcționare al releelor cu caracteristică limitat dependentă depinde pînă la o anumită limită de valoarea curentului de acționare, după care caracteristica devine independentă.

b. **Relee termice**

Releele termice conțin o lamelă bimetalică care este încălzită în funcție de curentul motorului și care provoacă deschiderea unui contact de îndată ce releul a atins temperatura sa de funcționare. Datorită încălzirii bimetalul se curbează și, ca urmare, prezintă o săgeată variabilă cu temperatura sa, precum și forța capabilă să execute un lucru mecanic.

Încălzirea bimetalului este proporțională cu pătratul curentului, iar săgeata sa depinde de această încălzire și de temperatura mediului ambiant.

Încălzirea bimetalului poate fi obținută fie prin trecerea curentului printr-o rezistență încălzitoare montată pe bimetal sau lîngă el (încălzire indirectă), fie trecînd direct curentul prin lamela bimetalică.

In figura 7-23, *a* sînt prezentate elementele componente ale unui releu termic tripolar, iar în figura 7-23, *b* se poate urmări principiul de funcționare al releului.

Lamelele bimetalice *1* acționează prin intermediul unei tije izolante comune *2* asupra pîrghiei compensatoare *3* care eliberează colțarul *4*, provocînd astfel deschiderea contactelor *5* din circuitul de comandă. Reglajul se face prin deplasarea articulației *6*, variind astfel distanța între capătul tijei *2* și pîrghia *3*. Se vede că acest tip de releu are declanșare liberă, adică la apăsarea pe butonul *O*, contactele *5* sînt menținute deschise în tot cursul operației de deszăvorîre. Dacă condițiile de declanșare există încă, pîrghia *3* este înclinată și colțarul *4* nu poate reveni în poziția normală, nepermițînd închiderea contactelor *5*.

Condițiile de funcționare ale releelor termice destinate protecției motoarelor sînt normalizate în STAS 4480-68 iar caracteristica de protecție a acestor relee este dată în tabela 7-1.

Tabela 7-1

Caracteristica de protecție a releelor termice

Curentul de lucru în multipli ai curentului nominal al releului [kT_n]	Timpul de anclanșare	Starea bimetalului
1,05	> 2 ore	din stare rece
1,2	< 2 ore	din stare caldă
1,5	< 2 min	din stare caldă
6,0	2 secunde[1] 5 secunde[2]	din stare rece

[1] motoare cu pornire normală

[2] motoare cu pornire grea

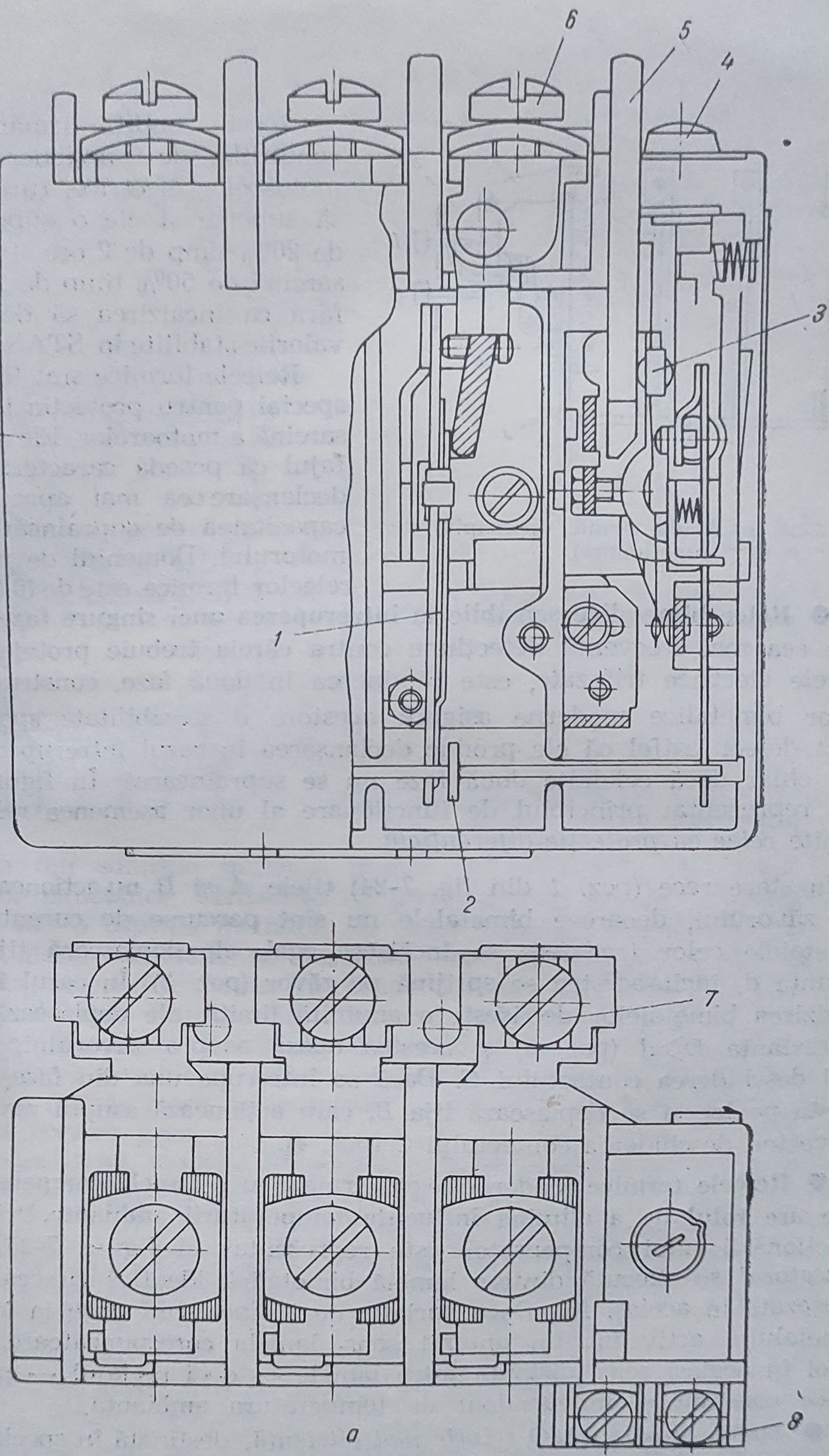


Fig. 7-23, *a*. Releu termic (vedere generală) :

1 — lamelă bimetalică ; 2 — mecanismul diferențial ; 3 — contact ; 4 — buton de reglaj ; 5 — buton de armare ; 6 — bornă de intrare ; 7 — bornă de ieșire ; 8 — bornele circuitului de comandă ; 9 — cutie din material izolant.

Fig. 7-23. b. Releu termic (principiul de funcționare).

Aceste condiții urmăresc fidel condițiile de funcționare impuse motoarelor electrice, care trebuie să suporte și ele o suprasarcină de 20% timp de 2 ore și o suprasarcină de 50% timp de 2 minute fără ca încălzirea să depășească valorile stabilite în STAS 1893-65.

Releele termice sînt folosite în special pentru protecția la suprasarcină a motoarelor. Ele au avantajul că posedă caracteristica de declanșare cea mai apropiată de capacitatea de supraîncărcare a motorului. Domeniul de reglaj al releelor termice este de (0,6...1) I_n.

● **Relee bimetalice sensibile la întreruperea unei singure faze.** Deoarece cea mai frecventă defecțiune contra căreia trebuie protejate motoarele electrice trifazate, este rămînerea în două faze, construcția releelor bimetalice moderne asigură acestora o sensibilitate sporită la acest defect, astfel că ele produc declanșarea în cazul întreruperii unei faze chiar dacă celelalte două faze nu se supraîncarcă. În figura 7-24 este reprezentat principiul de funcționare al unor asemenea relee denumite *relee cu protecție diferențială*.

În stare rece (poz. *1* din fig. 7-24) tijele *A* și *B* nu acționează asupra zăvorului, deoarece bimetalele nu sînt parcurse de curent. Dacă bimetalele celor trei faze se încălzesc egal, ele deplasează tijele cu distanța *d*, încît acestea se sprijină pe zăvor (poz. *2*). În cazul în care încălzirea bimetalelor depășește o anumită limită, ele deplasează tijele cu distanța $D > d$ (poz. *3*) și acestea apasă asupra zăvorului, producînd deschiderea contactului *C*. Dacă se întrerupe una din faze, tija *A* va sta pe loc și se deplasează tija *B*, care acționează asupra zăvorului, provocînd deschiderea contactului *C* (poz. *4*).

● **Releele termice** moderne se construiesc **cu o lamelă compensatoare, care are rolul de a elimina influența temperaturii ambiante.** Principiul funcționării unui compensator este reprezentat în figura 7-25. *Compensatorul* se execută dintr-o lamelă bimetalică identică cu cea activă și așezată în același fel. Dacă variația de temperatură duce la îndoirea bimetalului activ într-un anumit sens, lamela corespunzătoare se va îndoi în același sens, distanța între lamele — deci reglajul — păstrîndu-se constant și independent de temperatura ambiantă.

● **Sonda bimetalică.** *O soluție mai eficientă*, destinată în special pentru regimul intermitent, este *utilizarea unei protecții care să supravegheze direct temperatura înfășurărilor motorului*, și nu curentul absorbit de motor, ca în cazul releelor termice.

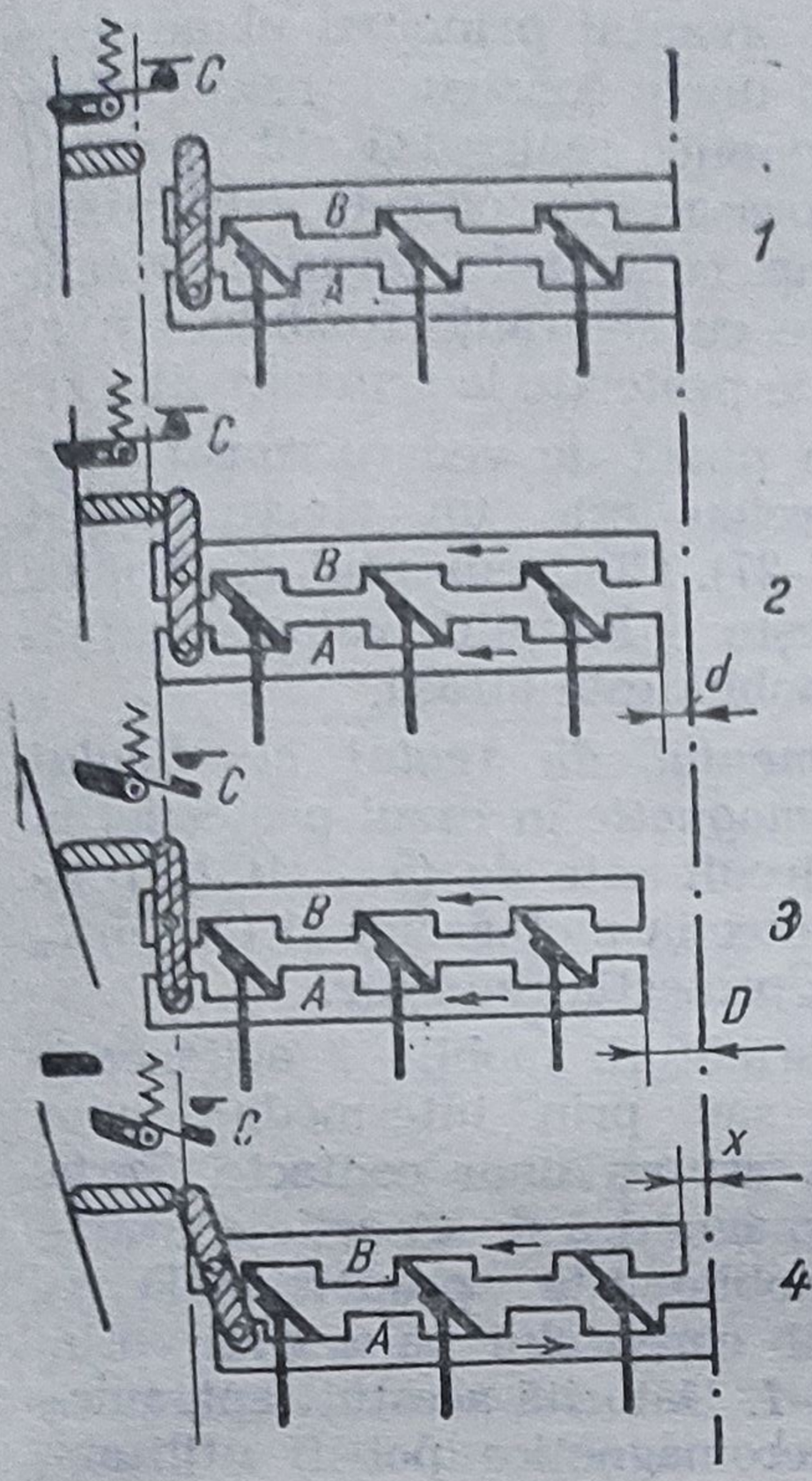


Fig. 7-24. Principiul de funcţionare al releului cu protecţie diferenţială.

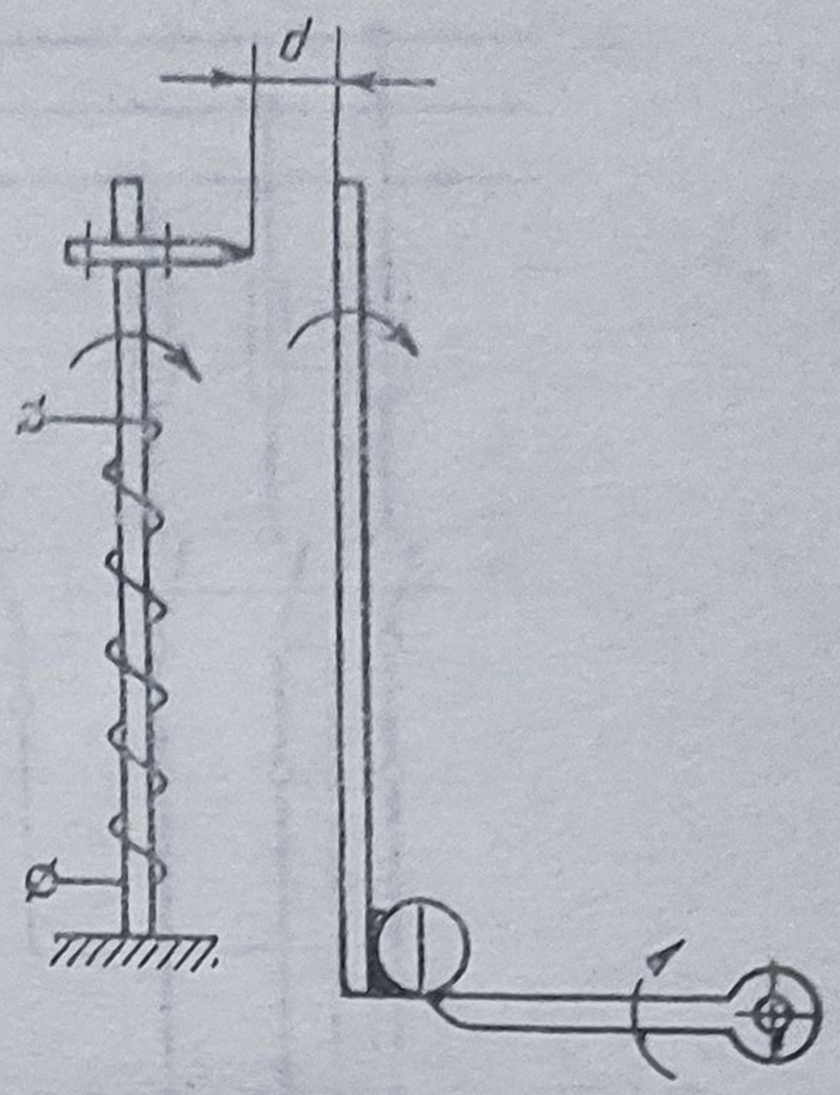


Fig. 7-25. Principiul de funcţionare al compensatorului termic.

Una din soluţiile utilizate bazate pe acest principiu este cea a sondelor bimetalice. Elementul de protecţie este un disc bimetalic îmbrăcat într-o capsulă metalică. În cazul atingerii temperaturii de protecţie, discul bimetalic se curbează brusc realizînd un contact care printr-un releu intermediar întrerupe alimentarea motorului (fig. 7-26).

Capsulele se introduc în interiorul bobinajelor statorice, urmărindu-se o transmisie cît mai bună a căldurii de la bobinaj la capsulă.

Utilizarea capsulelor este recomandabilă pentru motoarele care suportă un număr mare de inversări, de comutări de poli pentru motoarele cu pornire grea.

Dezavantajul sondelor bimetalice este, în afară de complicarea schemei de protecţie, faptul că încălzirea indirectă a lor se face cu oarecare întîrziere faţă de încălzirea bobinajelor.

În plus, după funcţionare aceste sonde se răcesc foarte lent, în acelaşi timp cu masa bobinajului, şi pot conduce la opriri de exploatare foarte lungi.

c. Relee electromagnetice

În domeniul protecţiei împotriva curenţilor de scurtcircuit, în special în instalaţiile cu motoare electrice, o utilizare destul de largă o au releele electromagnetice.

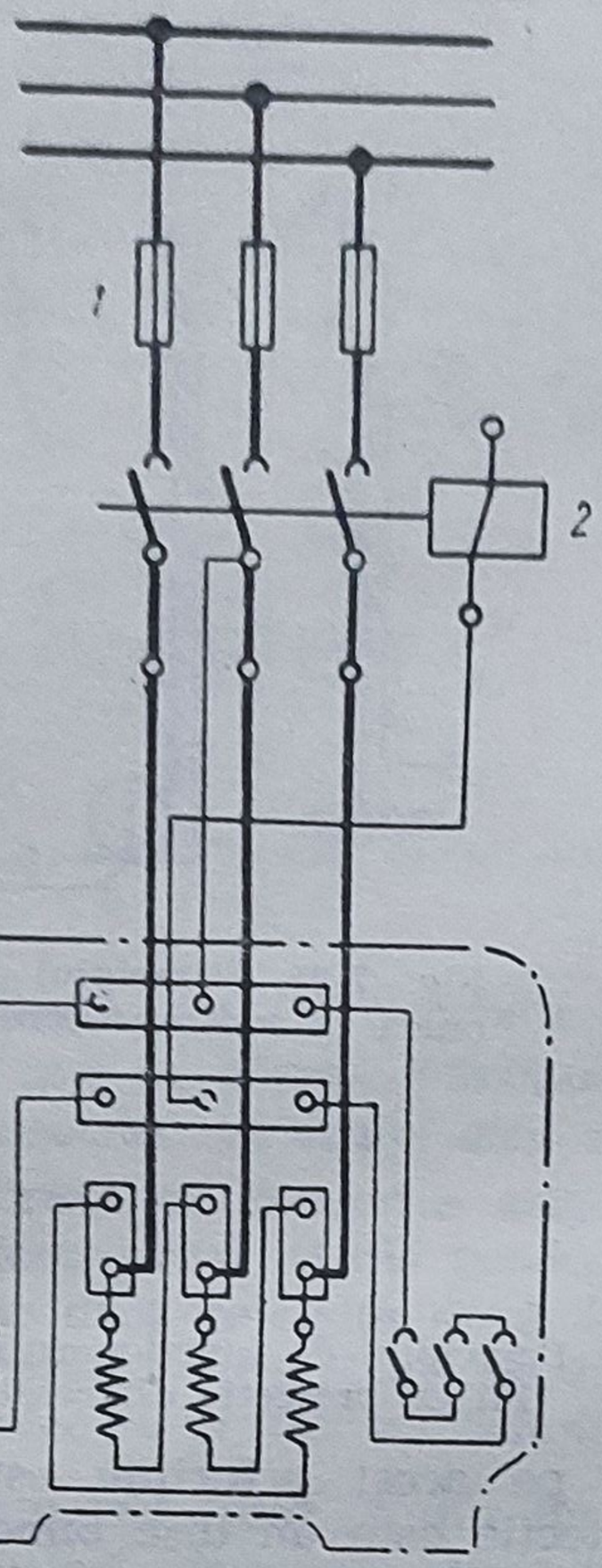


Fig. 7-26. Schema electrică de funcționare a sondelor bimetalice :
1 — siguranța fuzibilă ; 2 — contactorul de comandă ; 3 — sonda bimetalică.

Un avantaj principal al acestora este că unele construcții releele electromagnetice realizează atît protecția la suprasarcină cît și la scurtcircuit, în timp ce releele termice trebuie asociate cu siguranțe fuzibile sau cu relee de protecție la scurtcircuit.

Din punct de vedere constructiv, acest releu este un electromagnet (fig. 7-27). Cînd curentul din bobină depășește o anumită valoare, armătura mobilă este atrasă.

Domeniul de reglaj al releului electromagnetic în cazul protecției la scurtcircuit este de (5 . . . 10)I_n pentru protecția motoarelor și (3. . .6) I_n pentru protecția rețelelor.

O armătură mobilă *2* acționează direct, sau prin intermediul unor pîrghii, asupra unor contacte. Forța electromagnetică de atracție a armăturii mobile este proporțională cu pătratul curentului care trece prin bobina *1*. Datorită acestui fapt, releele elecromagnetice pot fi utilizate atît în curent continuu, cît și în curent alternativ.

Reglarea curentului la care armătura mobilă este atrasă se execută prin modificarea forței antagoniste F date de un resort *3* și prin variația întrefierului.

Pentru reglajul la beneficiar, releul este prevăzut cu un buton de reglaj și cu o scară gradată în amperi sau în multipli ai curentului nominal.

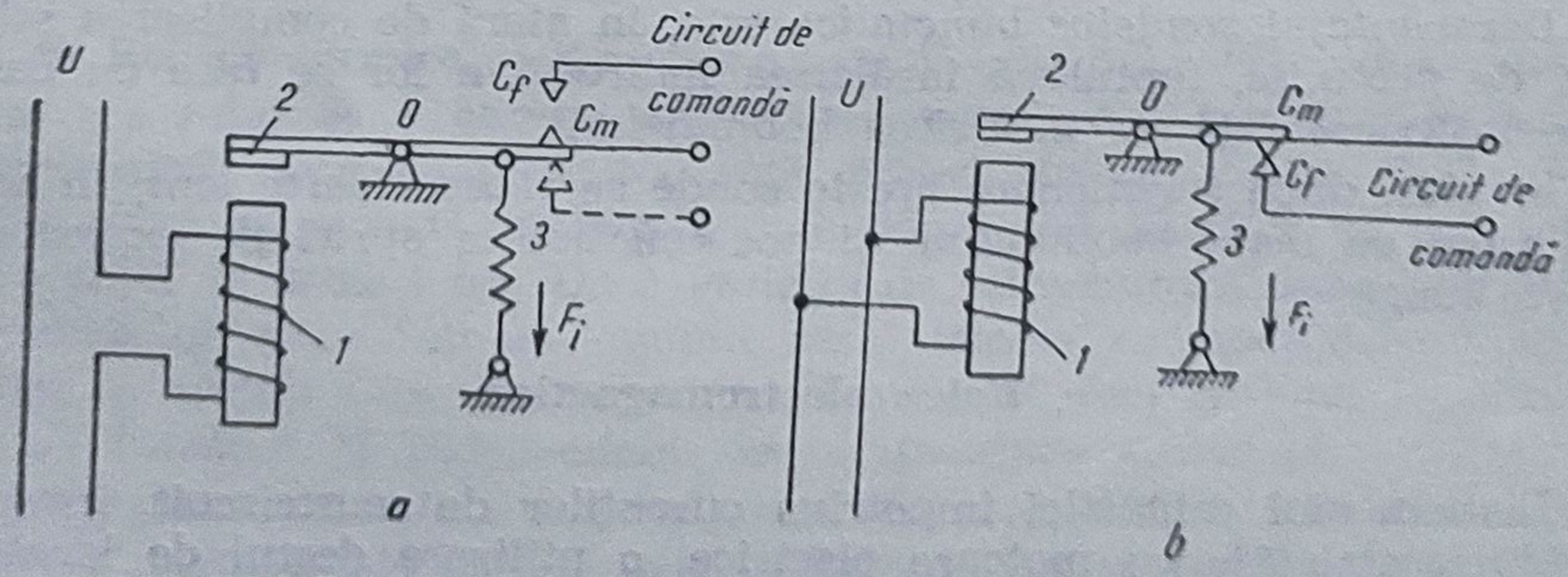


Fig. 7-27. Principiul de funcționare al releului electromagnetic.
a — de curent ; b — de tensiune.

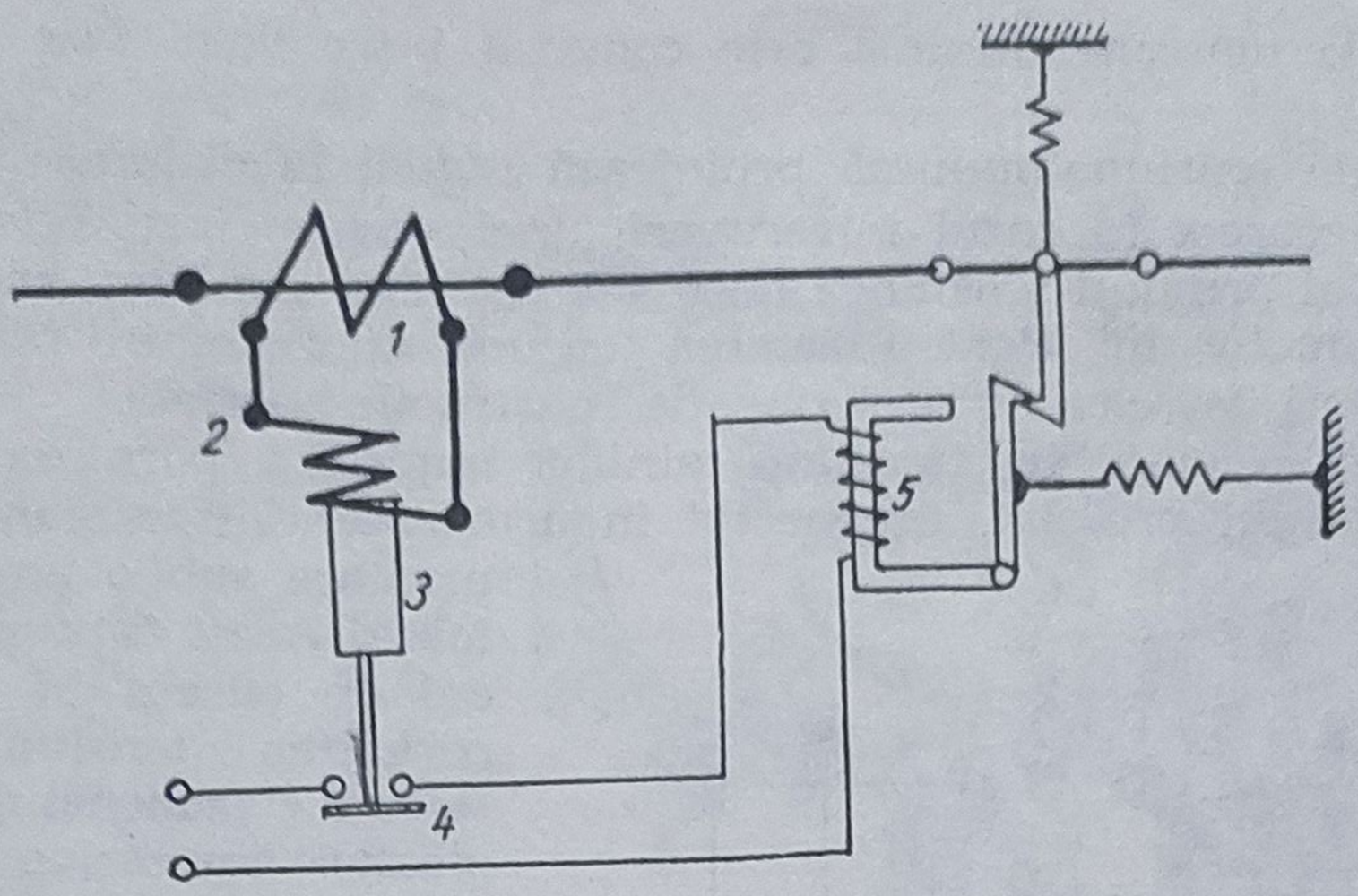


Fig. 7-28. Schema de principiu a unui releu secundar :
1 — transformatorul de curent ; 2 — bobina releului ; 3 — armătura mobilă ; 4 — contactele releului ; 5 — declanşatorul întreruptorului automat.

● **Conectarea releelor electromagnetice.** *Releele electromagnetice pot fi primare* sau *secundare*, după cum înfăşurarea releului este conectată direct în circuitul de sarcină, sau prin intermediul unui transformator.

In figura 7-28 este dată schema de principiu a conectării unui releu secundar. Înfăşurarea *2* a releului este conectată la înfăşurarea secundară *1* a transformatorului de curent. Cînd curentul depăşeşte valoarea reglată, armătura *3* este atrasă în interiorul bobinei şi închide cu ajutorul contactelor *4*, circuitul de curent al bobinei *5* a declanşatorului, care produce deschiderea întreruptorului automat.

d. **Relee de tensiune minimă**

Releul de tensiune minimă este similar cu un releu electromagnetic care acţionează pentru o anumită valoare a tensiunii aplicate la bornele bobinei.

În unele cazuri releul este prevăzut cu *posibilitatea de reglare a tensiunii de declanşare*, precum şi cu un *dispozitiv de temporizare*, care face ca deschiderea releului să se producă după un timp prereglat, de obicei cuprins între 0 şi 5 secunde. Reînchiderea se produce instantaneu. Dispozitivul de temporizare poate fi un mecanism de ceas sau, pentru curent continuu, un dispozitiv de temporizare cu condesator.

● Conform STAS 4480-68, releele de tensiune minimă aparţinînd întreruptoarelor automate trebuie să îndeplinească următoarele **condiţii de funcţionare :**

— să anclaşeze la tensiunea de minimum 0,85 U_N.
— să reţină armătura mobilă la 0,7 U_N;
— să se deschidă, comandînd declanşarea întreruptorului automat atunci cînd tensiunea bobinei ajunge la minimum 0,35 U_N pentru curent alternativ şi la 0,15 U_N pentru curent continuu.

Releul de tensiune minimă este conectat între două faze sau între fază şi nul.

Releul de tensiune minimă protejează numai la căderea trifazată a tensiunii, deoarece în cazul întreruperii unei singure faze, releul nu reacţionează, el primind tensiunea necesară reţinerii armăturii mobile prin înfăşurarea motorului. Pentru căderea tensunii unei singure faze se prevăd alte tipuri de relee de protecţie, de construcţie specială.

Utilizarea releului de tensiune minimă împiedică pornirea neaşteptată a motorului protejat, deconectat în urma scăderii tensiunii de alimentare sub o anumită valoare. Acest fapt reduce şocul de curent în reţea la revenirea tensiunii şi protejează personalul din exploatare împotriva accidentelor.

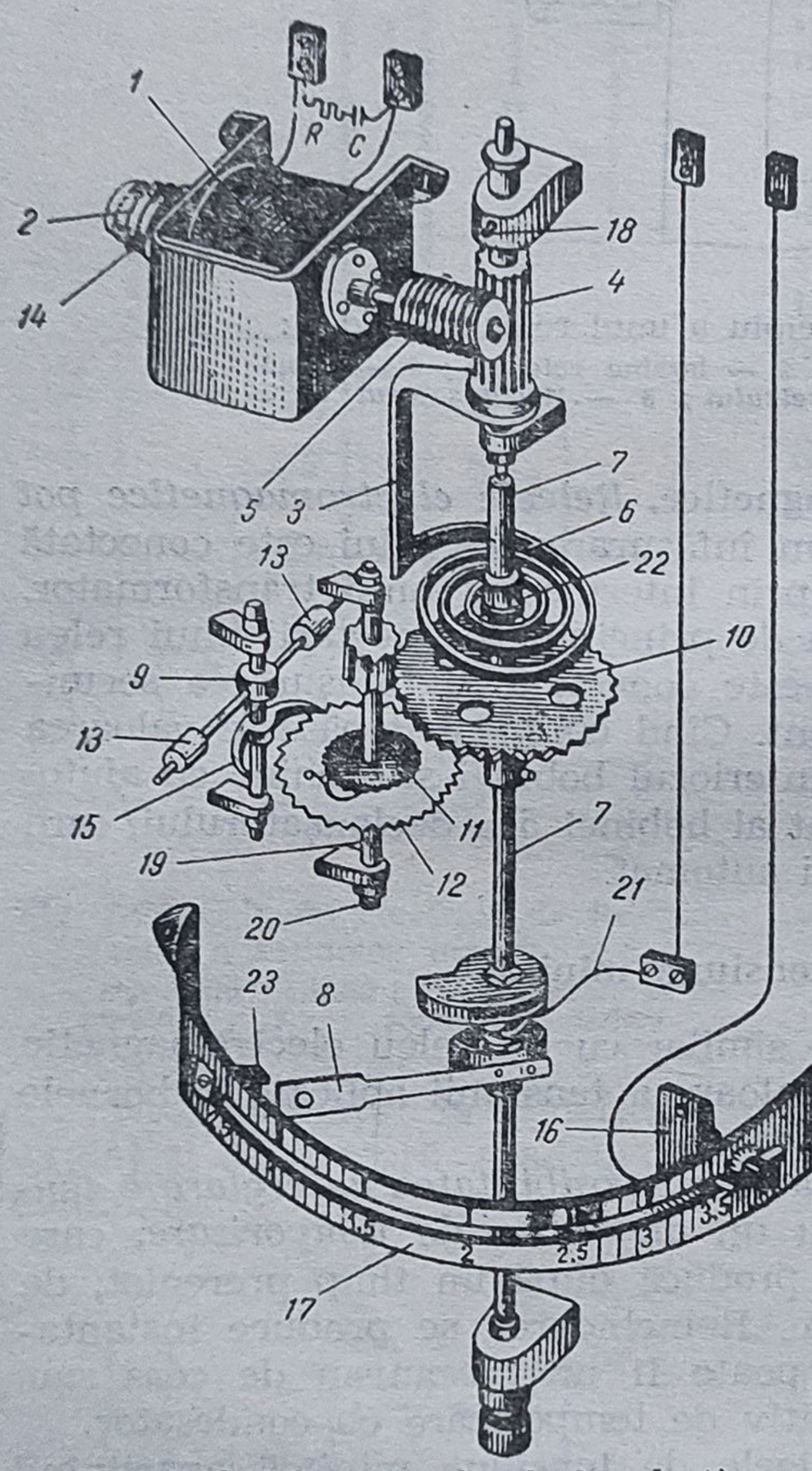


Fig. 7-29. Mecanismul releelor de timp :

1 — bobina electromagnetului ; 2 — armătura mobilă a electromagnetului ; 3 — pîrghia de armare a resortului spiral antagonist ; 4 — roată dinţată ; 5 — cremalieră ; 6 — resort spiral antagonist ; 7 — şurub fără sfîrşit ; 8 — contact mobil : 9 — balansier ; 10, 11, 12 — roţi dinţate ; 13 — contragreutăţi ; 14 — arc spiral conic ; 15 — clichet ; 16 — contact fix ; 17 — scară gradată ; 18 — şurub de fixare a axului roţii dinţate ; 19 — fus ; 20 — lagăr filetat ; 21 — fir flexibil ; 22 — şurub de fixare a resortului spiral ; 23 — limitator de cursă ; R — rezistenţă ; C — condensator.

Este neproductivă însă oprirea tuturor motoarelor la căderile de tensiune de scurtă durată. Din acest motiv unele releee s-au prevăzut cu temporizare, ceea ce permite deconectarea motoarelor protejate cu astfel de relee, numai la căderile de durată ale tensiunii.

e. **Relee de timp**

În cazul cînd sînt necesare temporizări mari şi independente de valoarea curentului, se folosesc relee de timp. Temporizarea acestor relee este obţinută cu ajutorul unui mecanism cu balansier. Construcţia unui astfel de releu poate fi urmărită figura 7-29.

Electromagnetul este de tip solenoid. Armătura mobilă are o cremalieră 5. Aceasta antrenează o roată dinţată 4 care armează arcul 6 al mecanismului de ceasornic ce antrenează axul 7. Prin rotirea axului 7 se realizează deplasarea contactului

mobil *8*. Temporizarea se reglează deplasînd contactul fix *16* în lungul scării gradate *17*.

Viteza de rotire a axului este încetinită datorită unui mecanism cu balansier.

f. Relee de inducţie

Principiul de funcţionare a releelor de inducţie se bazează pe producerea unui cuplu prin interacţiunea dintre un flux magnetic şi curentul indus de el în elementul mobil. Aceste relee se pot folosi deci numai în curent alternativ.

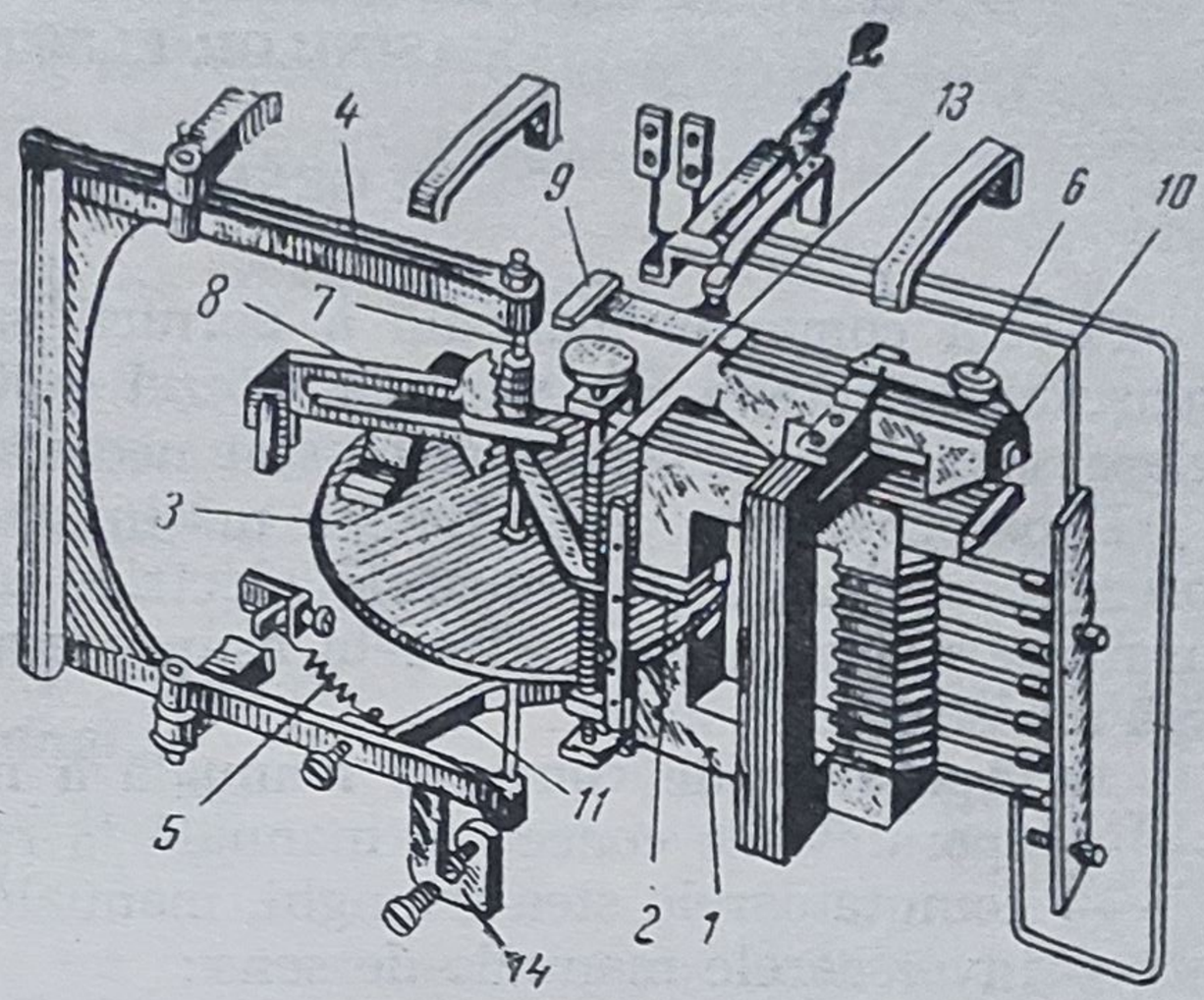


Fig. 7-30. Releu de inducţie:
1 — miez magnetic; 2 — spiră de scurtcircuit; 3 — disc de aluminiu; 4 — cadru basculant; 5 — resort antagonist al cadrului; 6 — şurub de reglaj al curentului de declanşare instantanee; 7 — şurub fără sfîrşit; 8 — pîrghie cu cremalieră; 9 — pîrghie; 10 — armătură mobilă; 11 — plăcuţă de oţel; 12 — contacte; 13, 14 — şuruburi de reglare.

Se construiesc două variante de *relee de inducţie: cu disc şi cu tambur*. Ele se pot executa *cu acţionare rapidă* sau *încetinită*.

În figura 7-30 este arătat un releu care reprezintă o combinaţie între un sistem electromagnetic şi unul de inducţie. Sistemul de inducţie este alcătuit dintr-un disc de aluminiu *3*, care se poate roti în întrefierul unui miez magnetic *1*. Polii circuitului magnetic sînt prevăzuţi cu spire în scurtcircuit *2*. Datorită fluxului magnetic variabil produs de înfăşurarea releului, în disc se induc tensiuni electromotoare care produc curenţi. Prin interacţiunea acestor curenţi cu fluxul magnetic, ia naştere un cuplu care roteşte discul. Viteza de rotaţie este cu atît mai mare cu cît curentul prin bobina releului este mai mare. Pentru o anumită valoare a acestui curent, discul de aluminiu — care este fixat în cadrul oscilant *4* — este atras către miezul electromagnetului şi şurubul fără sfîrşit *7* de pe axul său angrenează cu pîrghia *8*. Această pîrghie are o prelungire care după un timp va acţiona asupra piesei *9*, închizînd contactele *12*.

Temporizarea depinde de poziţia iniţială a pîrghiei *8*, care poate fi reglată cu ajutorul şurubului *13*, şi de valoarea curentului care determină viteza de rotaţie a discului.

Închiderea contactelor se realizează brusc, prin faptul că pîrghia *9* roteşte armătura mobilă *10* pînă cînd întrefierul dintre braţul din dreapta al acesteia şi miezul magnetic fix scade suficient de mult ca armătura să fie atrasă şi să acţioneze contactele.

Pentru valori mari ale curentului, acţionează direct sistemul electromagnetic reprezentat de armătura *10*. Şurubul *6* serveşte la reglarea valorii curentului de acţionare, prin modificarea întrefierului dintre armătura *10* şi miezul *1*. În acelaşi scop serveşte comutatorul de spire, prin care se realizează reglajul în trepte al curentului de acţionare.

F. APARATE PENTRU COMANDA MANUALĂ ȘI REGLAJUL MAȘINILOR ELECTRICE

1. GENERALITĂȚI

Pentru comanda manuală a pornirii sau opririi, pentru schimbarea sensului de rotație sau variația vitezei motoarelor, precum și pentru reglarea excitației generatoarelor sînt necesare diferite aparate.

Deoarece marea majoritate a mașinilor electrice rotative, utilizate în prezent o constituie motoarele electrice asincrone trifazate, în cele ce urmează se va insista îndeosebi asupra aparatelor de comandă și manevră ale acestor motoare.

● **Aparatele de comandă manuală a mașinilor electrice** sînt :
— aparatele de conectare manuală la rețea a mașinilor electrice ;
— comutatoarele stea-triunghi, manuale ;
— inversoarele manuale de sens ;
— controlerele ;
— comutatoarele manuale de număr de poli ;
— reostatele de pornire și reglare pentru motoarele electrice ;
— reostatele de excitație ale generatoarelor.

2. APARATE PENTRU CONECTAREA LA REȚEA

Conectarea la rețea și deconectarea de la rețea a statorului motoarelor electrice asincrone se poate realiza cu diferite tipuri de aparate de conectare, și anume cu întreruptoare-pîrghie ; întreruptoare-pachet, întreruptoare cu came, întreruptoare cu tambur.

Întreruptoarele cu pîrghie, cu came și pachet au fost studiate în cadrul aparatelor de conectare de uz general.

● **Întreruptoarele cu tambur** servesc exclusiv pentru comanda motoarelor electrice, și sînt formate (fig. 7-31) din trei perechi de degete de contact *3*, așezate de o parte și de alta a unui tambur 7 cu contacte,

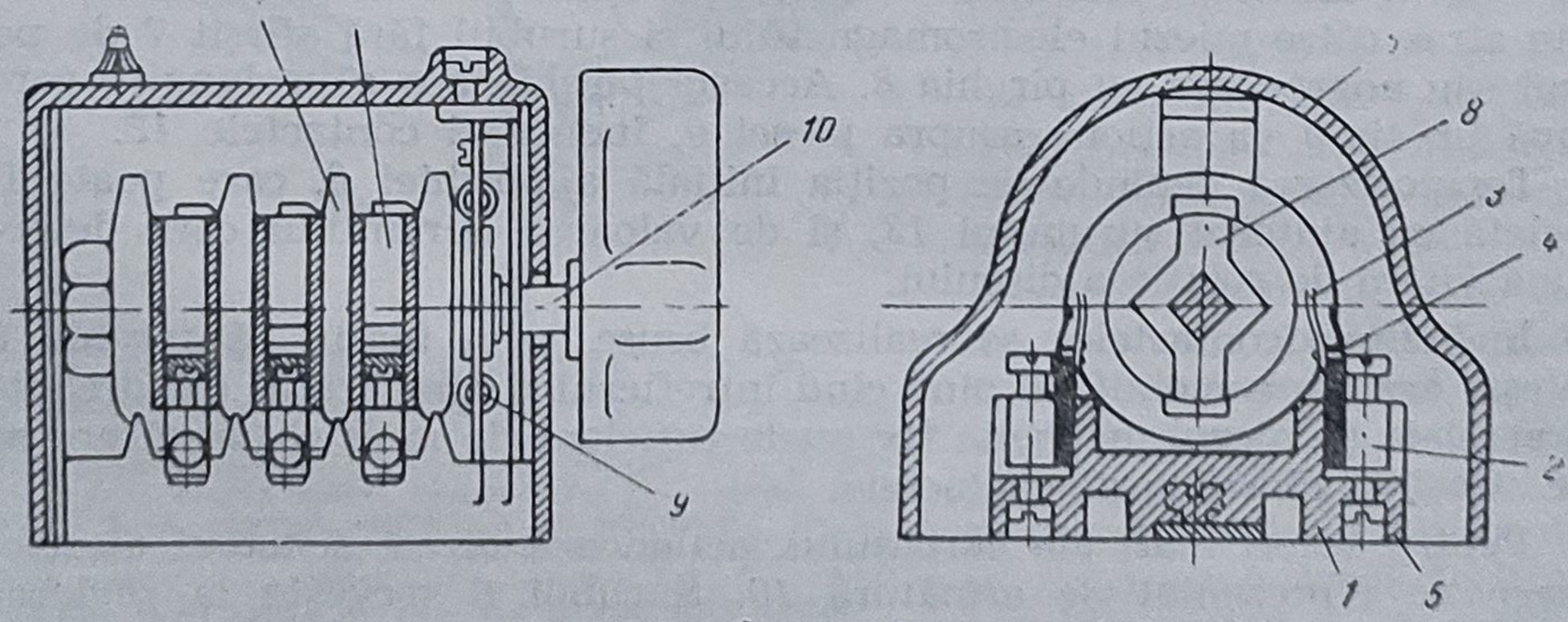


Fig. 7-31. Întreruptor cu tambur :
1 — placă de bază din material izolant ; 2 — bornă ; 3 — contact fix ; 4 — resort ; 5 — carcasă ; 6 — paravan de izolare între faze ; 7 — suport izolant al contactelor mobile ; 8 — contact mobil ; 9 — dispozitiv de sacadare ; 10 — ax de acționare.

antrenate de un ax central *10*. Prin legarea corespunzătoare a contactelor de pe tambur, aparatul poate fi folosit drept : comutator-întreruptor ; comutator stea-triunghi ; inversor de sens de rotație.

3. COMUTATOARE STEA-TRIUNGHI

Aparatul cu care se realizează pornirea motoarelor asincrone prin conectarea înfășurării statorice în stea-triunghi se numește comutator stea-triunghi. Constructiv, acesta este asemănător întreruptoarelor cu tambur.

Contactele mobile sînt montate pe tambur. Un sistem de sacadare special asigură rotirea bruscă a tamburului și nu permite manevrarea decît în ordinea : oprit-stea-triunghi.

Schema de conexiuni a comutatorului este reprezentată în figura 7-32. Din această figură rezultă :

— în poziția „zero“ (0) nici un contact mobil nu se află în legătură cu contactele fixe ;

— în poziția „stea“ (Y) prin intermediul contactelor mobile se leagă bornele *R* cu *A*, *S* cu *B* și *T* cu C, iar bornele *X*, *Y* și *Z* se leagă între ele, realizînd steaua ;

— în poziția „triunghi“ (Δ) se leagă bornele *R* cu *A* și *Z*, *S* cu *B* și *X*, *T* cu *C* și *Y*, realizîndu-se astfel conexiunea în triunghi a înfășurării motorului, concomitent cu conectarea acesteia la rețea.

Comutatorul nu poate fi manevrat decît în ordinea : zero-stea-triunghi, un dispozitiv de zăvorîre împiedicînd trecerea din triunghi în stea și din zero în triunghi (trecerea stea-zero este posibilă).

Se pot, de asemenea, realiza comutarea stea-triunghi cu ajutorul unui întrerupător-pachet, al unui întreruptor cu came sau cu un comutator-pîrghie.

Pentru protecția împotriva scurtcircuitelor, între comutator și rețea trebuie montate siguranțe fuzibile sau un întreruptor automat.

Pentru instalațiile care funcționează în medii umede, cu praf sau inflamabile se folosesc comutatoare stea-triunghi în ulei.

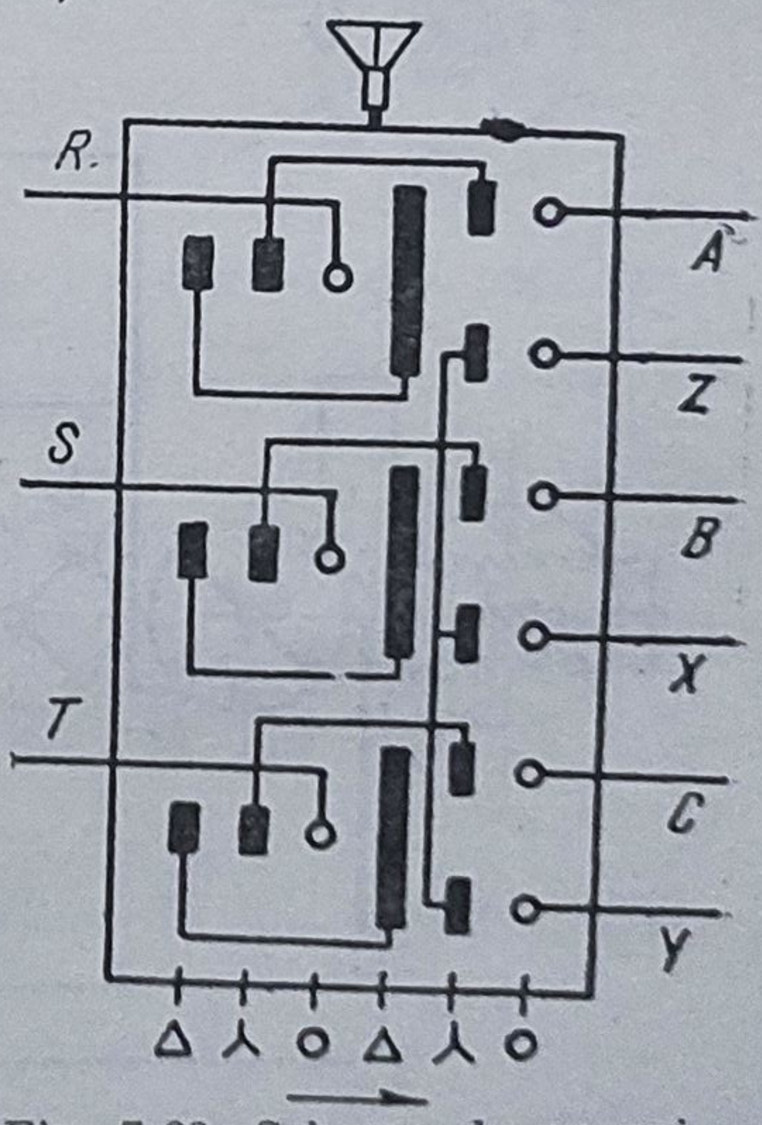


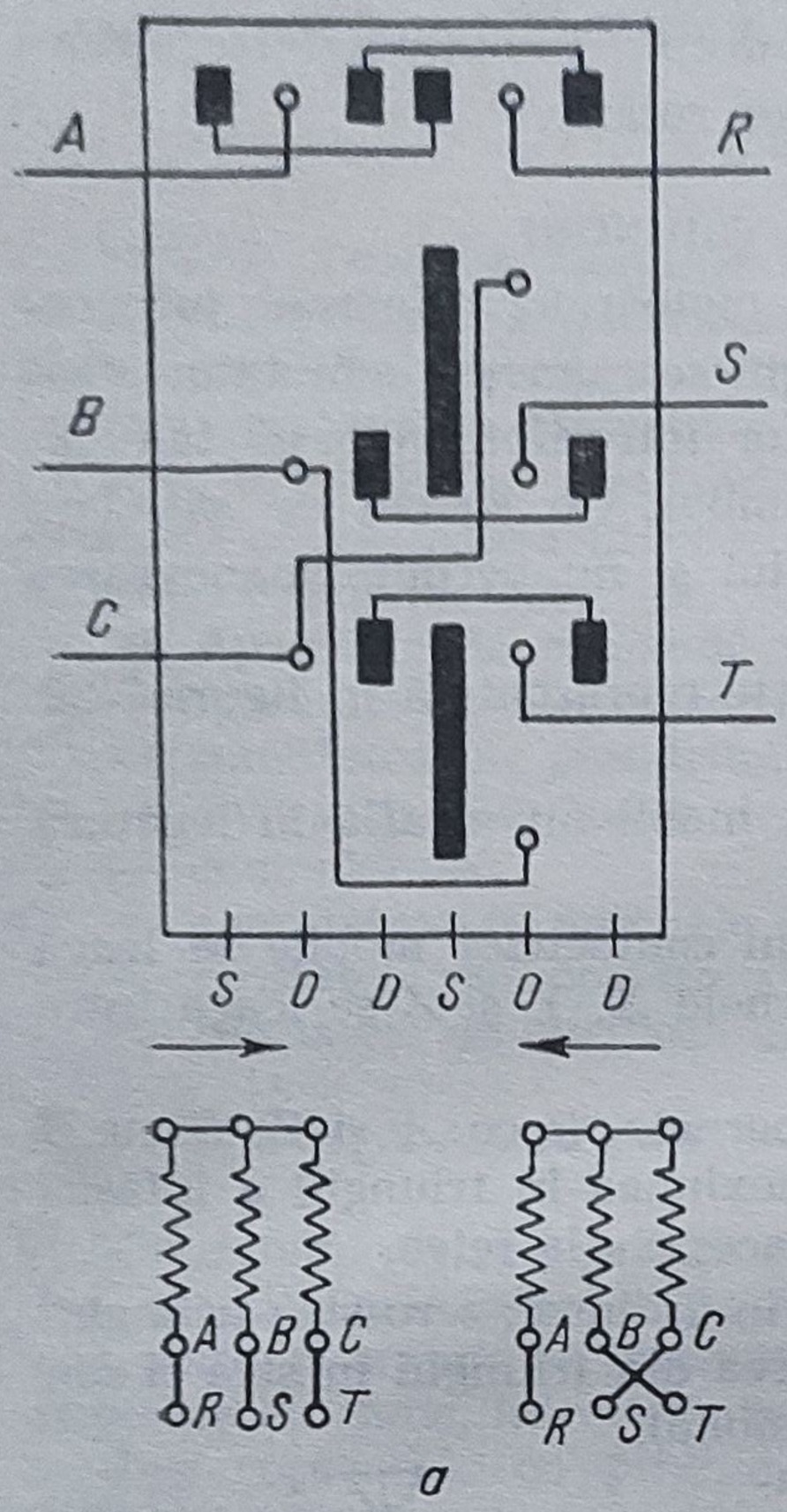
Fig. 7-32. Schema de conexiuni a unui comutator stea-triunghi.

4. INVERSOARE DE SENS

Pentru inversarea sensului de rotație a motoarelor asincrone trifazate, este necesar să se schimbe două faze între ele. Aceasta se poate realiza cu ajutorul unor inversoare. Inversoarele se aseamănă constructiv cu întreruptoarele cu tambur. Acționarea se face cu o pîrghie care are trei poziții : stînga-

oprit-dreapta. Nu este posibilă trecerea de la cele două poziții extreme decît trecînd prin poziția „oprit". Schema de conexiuni este indicată în figura 7-33, *a*.

Inversarea sensului poate fi făcută și cu ajutorul unor comutatoare pachet speciale (fig. 7-33, *b*).



a

5. CONTROLERE

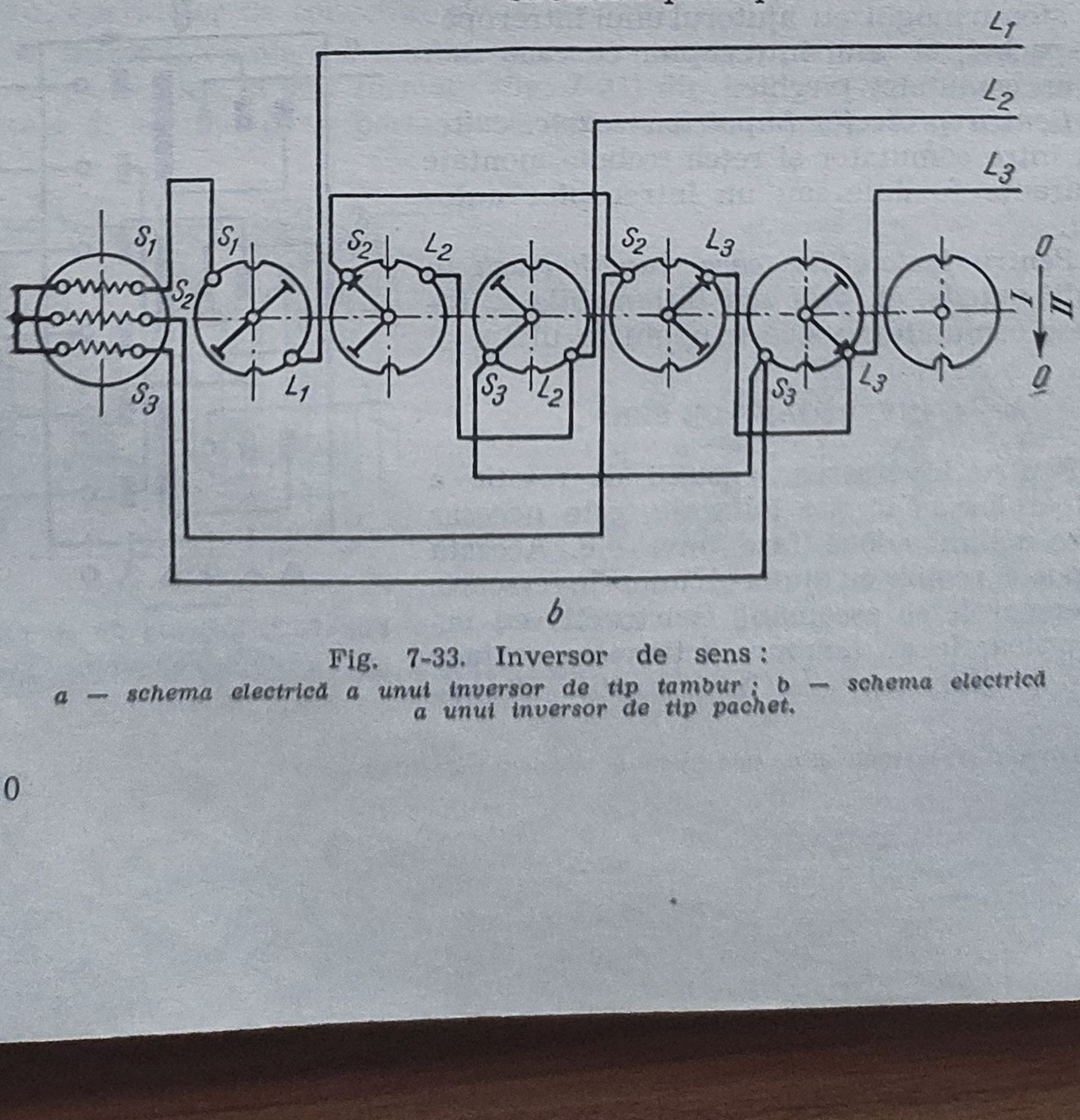
Controlerele sînt aparate de conectare care realizează modificarea într-o ordine stabilită a conexiunilor unuia sau mai multor circuite electrice.

a. Clasificare

● **După locul instalării în circuit,** controlerele pot fi :

— *controlere secundare* (controlere tactele în circuitele principale de forță ;

— *controlere primare*, care au conde comandă), ale căror contacte se află în circuitul unor contactoare care, la rîndul lor, efectuează conectările în circuitele principale.



b

Fig. 7-33. Inversor de sens :
a — schema electrică a unui inversor de tip tambur ; b — schema electrică a unui inversor de tip pachet.

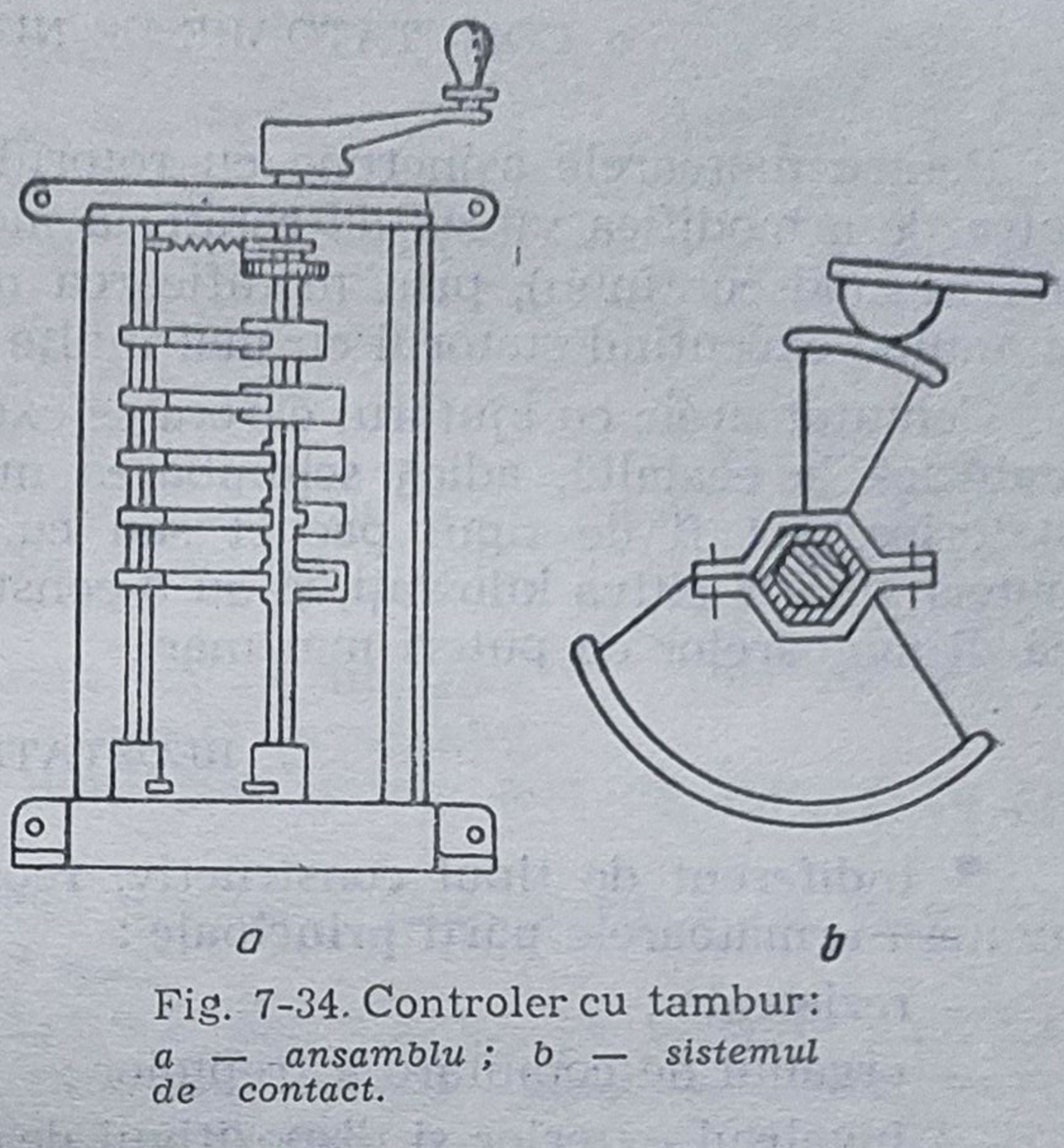
● **Din punct de vedere constructiv,** controlerele pot fi : *plane*, *cu tambur* sau *cu came*.

b. Tipuri de controlere

● **Controlerele plane** pot fi realizate cu mai multe trepte de comutare decît celelalte tipuri şi de aceea se folosesc în schemele de reglare a excitaţiei, de pornire şi reglare a vitezei motoarelor.

● **Controlerele cu tambur** se folosesc în instalaţiile de curenţi mai mari şi cu frecvenţă mare de comutare. După cum se vede în figura 7-34, pe un ax central rotativ izolat sînt montate contactele mobile sub formă de sectoare. Contactele fixe sînt montate pe bare izolate. Rotind axul cu ajutorul unei manivele, se realizează stabilirea şi întreruperea circuitelor în succesiunea dorită. Un sistem de sacadare asigură poziţia corectă a tamburului.

În cazul unor curenţi mari, se prevăd sisteme de suflaj magnetic şi camere de stingere pentru stingerea arcului electric.



a *b*

Fig. 7-34. Controler cu tambur: *a — ansamblu ; b — sistemul de contact.*

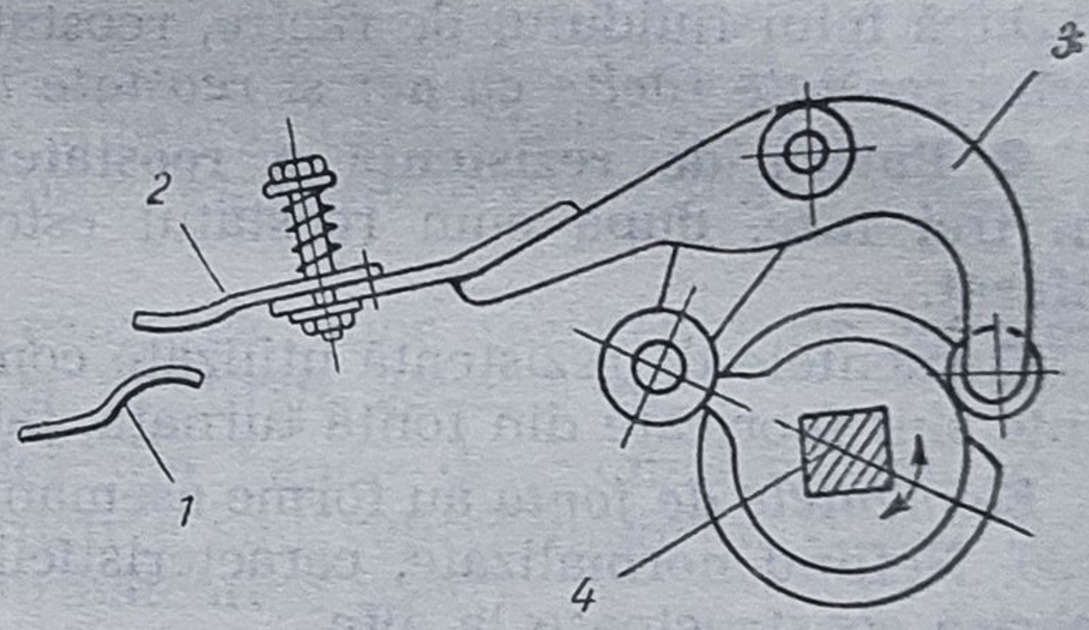


Fig. 7-35. Elemente de contact ale unui controler cu came :
1 — contact fix ; 2 — contact mobil ; 3 — pîrghie cu rolă ; 4 — ax cu came.

● **Controlerele cu came** au sistemul de comutare alcătuit din contacte acţionate prin intermediul unor came (fig. 7-35).

Majoritatea controlerelor de comandă, care au o largă utilizare la comanda acţionărilor electrice, se execută cu came, care pot fi reglabile sau nereglabile.

Controlerele cu came prezintă o acţionare mai uşoară şi o putere de rupere mărită, o uzură mult mai mică a contactelor şi posibilitatea de a fi uşor modificate prin înlocuirea camelor.

Sînt folosite îndeosebi pentru introducerea sau scurtcircuitarea de rezistenţe la pornirea şi reglarea motoarelor asincrone trifazate cu inele, precum şi a motoarelor de curent continuu.

6. COMUTATOARE DE NUMĂR DE POLI

Pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurtcircuit există posibilitatea de a modifica viteza de rotație a motorului în două-trei trepte fixe (nu în mod continuu), prin modificarea numărului de poli ai statorului, și anume executînd statorul cu mai multe înfășurări.

Comutatoarele cu ajutorul cărora se execută trecerea de la o conexiune statorică la cealaltă, adică schimbarea numărului de poli ai înfășurării statorice, pot fi de tipul pachet sau cu came, în cazul motoarelor de puteri pînă la cîțiva kilowați, și au o construcție similară controlerelor, în cazul motoarelor cu puteri mai mari.

7. REOSTATE

• Indiferent de tipul constructiv, reostatele unesc într-o construcție unitară următoarele **părți principale :**

— rezistența ;
— organul de comutare a treptelor ;
— învelișul exterior și dispozitivul de manevră ;
— cutia de borne.

După felul fluidului de răcire, reostatele se împart în două mari categorii : *reostate răcite cu aer* și *reostate în ulei.*

● **Partea de rezistență a reostatelor** este alcătuită dintr-una sau din trei faze, după cum reostatul este destinat unui motor mono-sau trifazat.

Elementele de rezistență utilizate comun atît la reostate cît și la rezistențe sînt fabricate din fontă turnată, tablă, benzi, sîrmă.

Elementele de fontă au forme asemănătoare celor reprezentate în figura 7-36. Nefiind normalizate, caracteristicile lor diferă foarte mult de la o fabrică constructoare la alta.

Pentru locurile de înseriere a elementelor s-au prevăzut urechile marginale. S-a dat această formă constructivă elementului, pentru a avea o lungime mare a părții conductoare, în scopul obținerii unei valori mari a rezistenței.

De obicei, la mijlocul elementului se mai află o a treia ureche — de susținere — pentru a consolida elementele montate la deformări termice și vibrații.

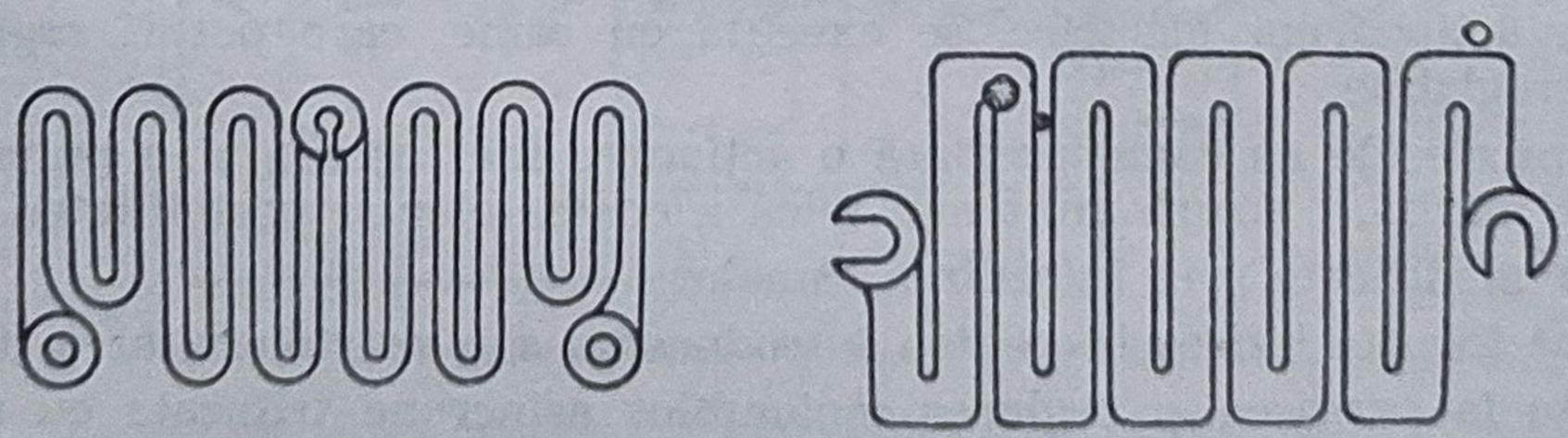


Fig. 7-36. Element din fontă.

Elementele de fontă se așază pe tije de oțel izolate cu micafoliu. Între urechi se așază rondele de oțel sau de micanită, după cum vrem să înseriem sau să izolăm între ele urechile. Din loc în loc, între elemente, se așază plăcuțe cu două găuri, una prin care trece tija, iar alta pentru a racorda o legătură cu ajutorul unui șurub. Acestea sînt prizele care se scot acolo unde o cer treptele.

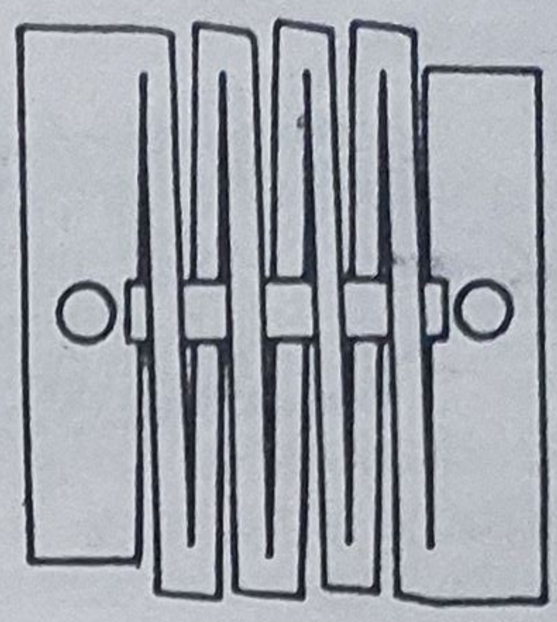


Fig. 7-37. Element din tablă ștanțată.

Elementele de fontă oferă o bună capacitate calorică. Pot suporta șocuri de sarcină de scurtă durată, dar se răcesc mai greu.

Elementele de tablă au început să fie utilizate abia în ultimul timp. Acestea prezintă avantajul unei tehnologii de execuție cu mult mai simple față de elementele de fontă (fig. 7-27).

Aceste elemente se obțin prin ștanțare, fără pierderi de material, din tablă silicioasă groasă de 1,2 mm.

La montarea în baterii, elementele sînt întinse pe direcția găurilor de așezare, iar între decupări, se așază izolația. Deci scurtcircuitarea acestora este evitată pe de o parte prin izolația introdusă între ele, iar pe de altă parte, prin întinderea elementului.

În baterii, elementele se înseriază prin sudarea prin puncte a porțiunilor îndoite. Prizele se scot cu un conductor cu ochi strîns pe urechile îndoite a două elemente cu ajutorul unui șurub cu piuliță.

Pentru a fi rezistente la coroziune, elementele din tablă silicioasă se zincheză sau se cadmiază.

Elementele ștanțate permit realizarea unor rezistențe de greutate mică, cu suprafață mare de răcire și, în sfîrșit, gabarit mic.

Elementele din benzi se fabrică din bandă de cromnichel sau constantan. Principalele forme constructive sînt reprezentate în figura 7-38.

La aceste elemente se disting următoarele părți :

— suportul *1* fabricat din tablă avînd capetele decupate în scopul de a permite așezarea pe tije și fixarea frontală pe izolatoare ;

— călăreții de porțelan sau steatită *2*, avînd rolul de a izola partea conducătoare și de a susține banda ; ei se lipesc pe suport cu litargă ;

— banda *3*, care se poate așeza pe călăreții de porțelan, pe muchie (fig. 7-38, *a* și *b*) sau pe lat (fig. 7-38, *c*).

Rezistențele fabricate cu aceste elemente au indici calitativi foarte buni, dar au o tehnologie grea și utilizează un material rezistiv scump.

Se întîlnesc și elemente cu banda spiralizată suspendată de izolatoare numai la capete (fig. 7-38, *d*), precum și elemente formate în zig-zag (fig. 7-38, *e*)

Elementele din sîrmă se întîlnesc sub două forme : pe suporturi, sau sub formă de spirale libere. Ca material se utilizează sîrmă rotundă din oțel galvanizat, constantan, crom-nichel și nichelină.

La elementele din sîrmă se poate obține valoarea dorită a rezistenței cu precizie mai mare decît la celelalte tipuri de rezistențe.

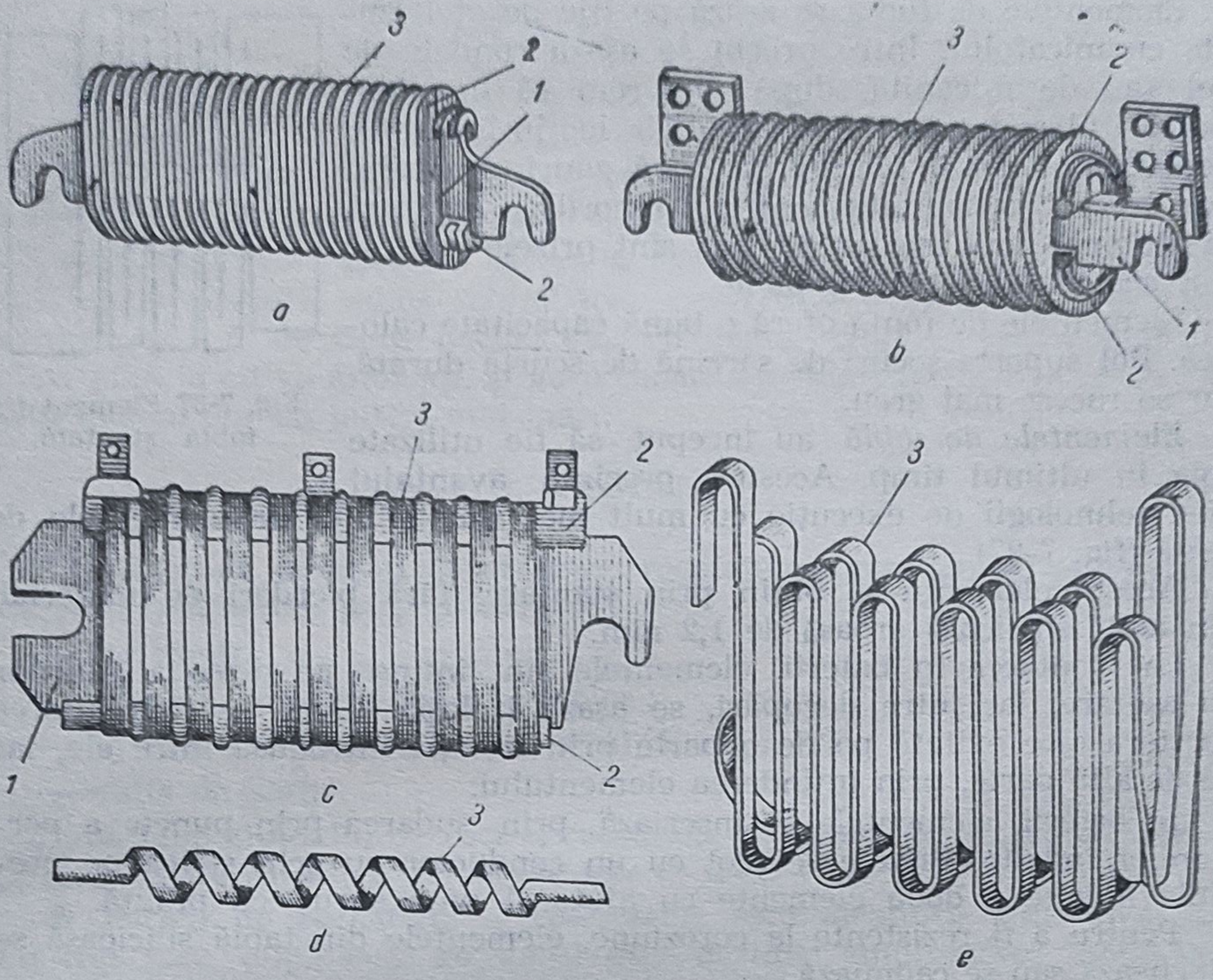


Fig. 7-38. Elemente din benzi :
1 — suport din tablă ; 2 — piesă izolatoare (călăreț) din ceramică ; 3 — bandă rezistivă.

Cu elementele de rezistență descrise se confecționează, prin înserierea lor, părți de rezistență (sau grupe de elemente) conectate în paralel, care sînt apoi așezate pe o construcție de susținere.

În ce privește organul de comutare a treptelor, cele mai întîlnite reostate sînt cu placă cu ploturi sau cu controler.

G. APARATE PENTRU COMANDA AUTOMATĂ ȘI PROTECȚIA MAȘINILOR ȘI INSTALAȚIILOR ELECTRICE

1. GENERALITĂȚI

În subcapitolul C din acest capitol au fost descrise aparatele de conectare manevrate de către operator, prin acțiune mecanică asupra lor.

Există însă aparate care pot fi comandate fie de operator de la distanță, fie în mod automat, prin intermediul unor relee. Rolul lor este de a micșora efortul fizic necesar acționărilor, de a permite comanda mai multor mașini și instalații dintr-un singur loc, de a asigura efectuarea corectă și în timp util a anumitor manevre și de a proteja instalațiile și mașinile electrice.

Există trei categorii de astfel de aparate de joasă tensiune, și anume : contactoare și ruptoare ; contactoare cu relee ; întreruptoare automate.

2. CONTACTOARE ȘI RUPTOARE

Contactorul este un aparat de conectare cu o singură poziție de repaus, acționat cu un dispozitiv capabil de a închide, a suporta și a întrerupe curenții în condiții de funcționare normale și accidentale ale circuitului.

Aceste operații de stabilire, menținere și întrerupere a continuității circuitelor electrice sînt însoțite de fenomene care depind de tensiunea și de curentul de regim, de supratensiuni și de supracurenți. Datorită multiplelor posibilități de utilizare, soluțiile tehnice adoptate în construcția contactoarelor sînt foarte variate.

a. **Elemente constructive**

Ținînd seama de funcția pe care o îndeplinește într-un circuit electric, un contactor este compus dintr-o serie de elemente constructive (fig. 7-39) care vor fi descrise pe scurt, în continuare.

● **Contactele principale** sînt contacte în circuitul principal și, prin mișcarea lor, stabilesc sau întrerup continuitatea unui circuit. Unul din contacte, care în timpul operației de conectare-deconectare rămîne imobil, se numește *contact fix*. Celălalt contact, care este antrenat în mișcare de către dispozitivul de acționare, se numește *contact mobil*.

● **Sistemul de stingere a arcului electric** (produs la întreruperea curentului, între contactul fix și cel mobil) se montează pe fiecare pereche de contacte. El este destinat să limiteze extinderea arcului electric de întrerupere și să contribuie la stingerea lui, astfel încît durata acțiunii arcului să fie foarte redusă. În figura 7-39, *b* dispozitivul de stingere se compune din bobina de suflaj magnetic și camera de stingere.

● **Sistemul de acționare** are rolul de a transmite energia necesară închiderii sau deschiderii contactelor principale în cazul în care primește o comandă din afară. În figura 7-39, *a*, contactele principale ale contactorului sînt acționate cu ajutorul unui electromagnet.

● **Contactele auxiliare,** contactate în circuitele auxiliare ale contactorului, sînt cuplate mecanic cu contactele circuitului principal, astfel încît fiecărei poziții de funcționare a contactorului să-i corespundă o anumită poziție de funcționare a contactorului auxiliar. Contactele auxiliare servesc la închiderea și întreruperea circuitelor de comandă, de blocare și semnalizare, în funcție de pozițiile de funcționare ale contactorului.

● **Sistemul de fixare** are rolul de a susține toate părțile componente ale contactorului.

● **Bornele.** Legarea contactorului cu circuitele principale se face prin intermediul bornelor fixe. Între bornă și contactul mobil, o legătură flexibilă asigură continuitatea circuitului.

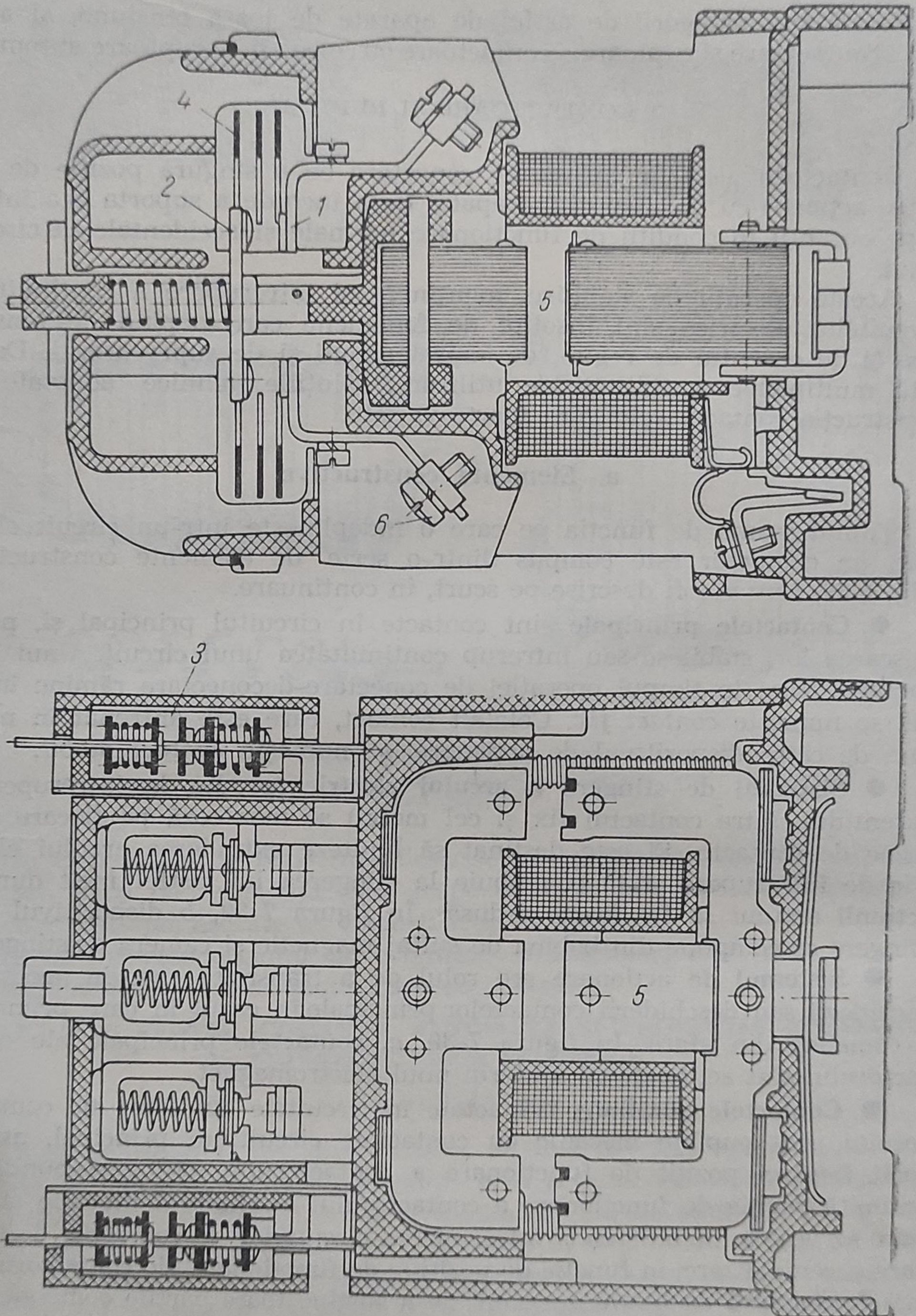


Fig. 7-39, *a*. Contactor cu mișcare de translație

Totalitatea pieselor conducătoare care în funcționare normală pot fi legate între ele din punct de vedere electric alcătuiesc o *cale de curent*. În cazul contactoarelor, o cale de curent este formată din : borna de intrare, bobina de suflaj (cînd există), contactul fix, contactul mobil, legătura flexibilă, borna de ieșire. Deoarece o cale de curent se leagă la un conductor de linie sau de fază al rețelei de alimentare, ea alcătuiește un pol al contactorului. *Numărul căilor de curent principale* care se pot conecta la rețeaua de alimentare *reprezintă numărul de poli ai aparatului.*

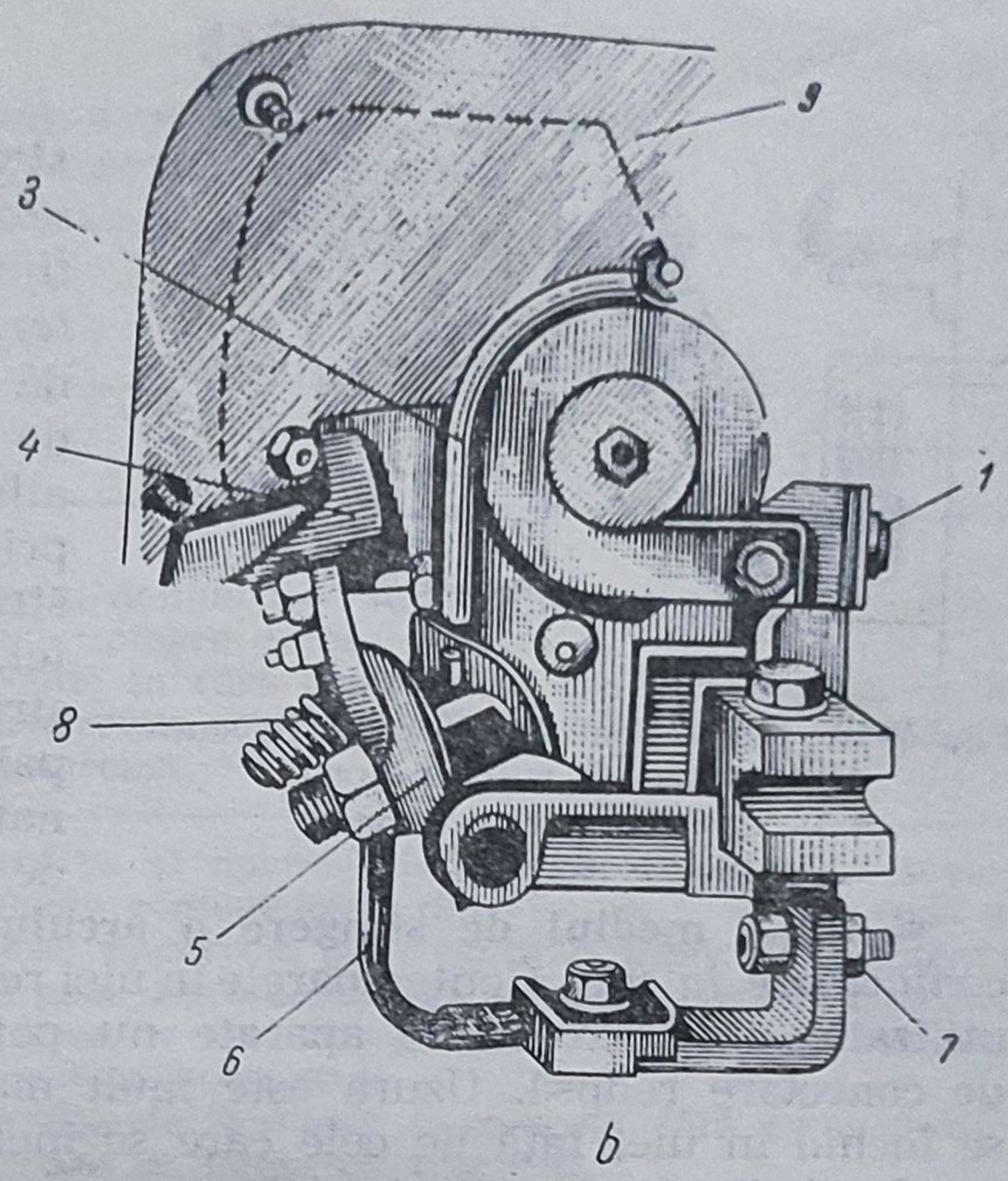


Fig. 7-39, *b*. Contactoare :
1 — contact fix ; 2 — contact mobil ; 3 — resort pentru realizarea forței de apăsare pe contact ; 4 — camera de stingere ; 5 — electromagnet ; 6 — bobina electromagnetului ; 7 — resort antagonist ; 8 — contacte auxiliare ; b — polul unui contactor cu bobină de suflaj ; 1 — bornă de intrare ; 2 — bobină de suflaj ; 3 — contact fix ; 4 — contact mobil ; 5 — suport contact mobil ; 6 — legătura flexibilă ; 7 — bornă de ieșire ; 8 — resortul contactului mobil ; 9 — cameră de stingere.

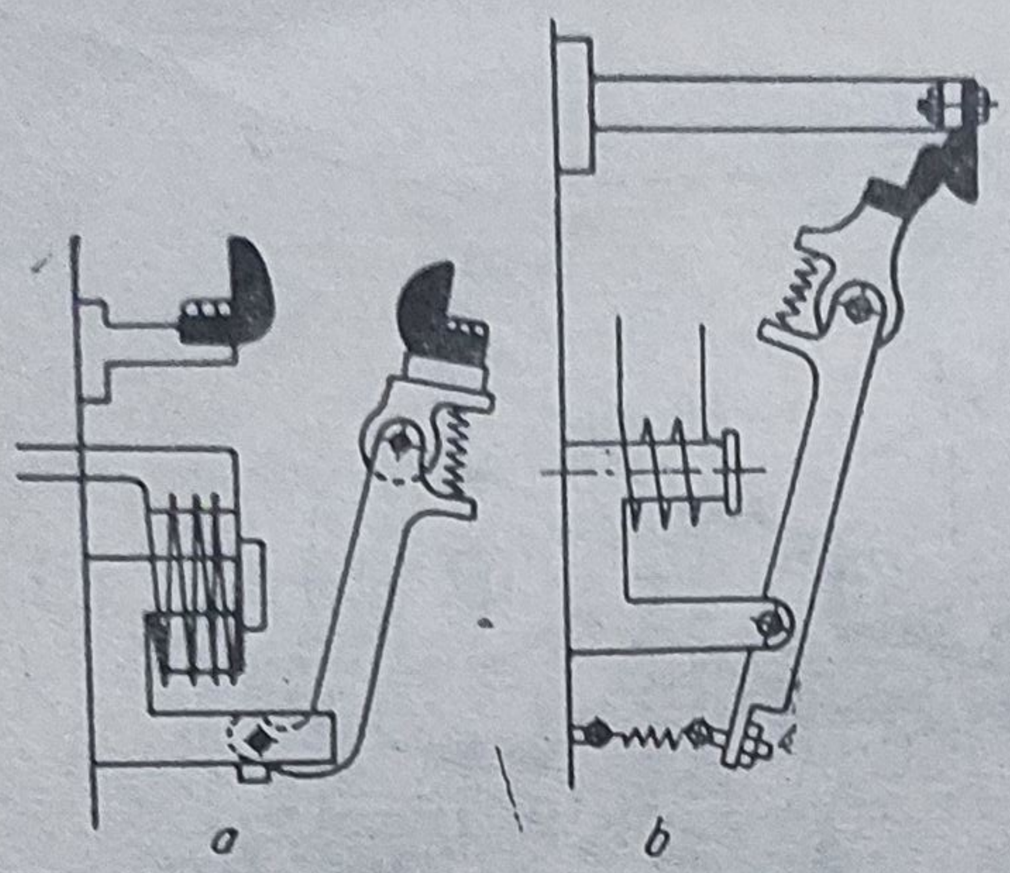
Ansamblul pieselor conducătoare care formează un circuit electric, străbătut de curentul principal pe care trebuie să-l închidă contactorul, alcătuiește *circuitul principal*.

Bobinele și contactele auxiliare ale contactorului, care comandă conectarea sau deconectarea aparatului sau servesc la comanda altor circuite și semnalizări alcătuiesc *circuitul de comandă*.

Din punct de vedere funcțional, contactele auxiliare pot fi normal-deschise sau normal-închise. Contactele normal-deschise (notate prescurtat ND) sînt deschise cînd contactorul nu este anclanșat, iar contactele normal-închise (notate prescurtat NI) sînt închise cînd contactorul nu este anclanșat. În momentul cînd contactele principale execută manevra de închidere, contactele auxiliare normal-deschise se închid, iar cele normal-închise se deschid.

Pe un contactor se pot monta mai multe contacte auxiliare de tipul ND sau NI.

Funcționarea contactoarelor se bazează pe principiul transmiterii comenzii de stabilire sau întrerupere a continuității circuitului electric, de la un sistem de comandă la sistemul de contacte mobile, prin intermediul unui dispozitiv de acționare. După cum sînt destinate să închidă sau să deschidă un circuit, aparatele sînt denumite *contactoare* sau *ruptoare*. Modul lor de funcționare poate fi urmărit cu ajutorul figurii 7-40.



a *b*

Fig. 7-40. Modul de funcționare al contactoarelor și ruptoarelor :
a — contactor ; b — ruptor.

b. Clasificarea contactoarelor

● **După felul curentului care străbate circuitul principal** se deosebesc : *contactoare de curent continuu* și *contactoare de curent alternativ*. Prin circuitul de comandă al contactorului poate trece de asemenea curent continuu sau alternativ. De obicei, circuitul principal și cel de comandă sînt străbătute de curenți de același fel, dar sînt răspîndite și construcțiile în care circuitul principal este parcurs de curent alternativ, iar circuitul de comandă de curent continuu și invers.

● **După mediul de stingere a arcului** există *contactoare în aer* și *contactoare în ulei*. Contactoarele în ulei reprezintă o soluție învechită, rar utilizată, deoarece aceste aparate nu pot funcționa decît la frecvențe de conectare redusă. Uzura este mult mai puternică la contactele care se închid în ulei față de cele care se închid în aer ; de aceea și durata lor de viață este mult mai mică.

● **După modul de deplasare a contactelor mobile există contactoare cu rotație și contactoare cu translație** (fig. 7—39). În ultima vreme contactoarele cu translație au căpătat o largă dezvoltare datorită performanțelor ridicate pe care le au, precum și datorită suprafeței de montaj redus pe care o solicită.

● **După numărul de poli** contactoarele pot fi : *monopolare*, prevăzute cu un pol, *bipolare* — cu doi poli, *tripolare* — cu trei poli sau *multipolare* — cu mai mulți poli. Construcțiile monopolare se utilizează în special în curent continuu, cele bipolare în curent continuu și alternativ, iar cele tri- și multipolare — în curent alternativ.

● **După tipul de protecție,** contactoarele în aer se pot utiliza *în execuție deschisă* sau *capsulate* în cutii care asigură diferite grade de protecție.

● **După tipul dispozitivului de acționare** se deosebesc contactoare *electormagnetice, electropneumatice, pneumatice* etc., după cum acționarea contactelor principale se face cu un electromagnet, electroventil, dispozitiv cu aer comprimat. Contactoarele electromagnetice au cele mai generale utilizări industriale, datorită construcției lor simple și robuste.

● **După felul sarcinii** contactoarele se clasifică în funcție de regimul de lucru caracteristic unei anumite sarcini.

Pentru a se putea da unele indicații în ceea ce privește alegerea și utilizarea corectă a contactoarelor, au fost stabilite prin standarde anumite „categorii de sarcină“ considerate normale sau reprezentative.

Această clasificare a contactoarelor, în ordinea unor solicitări din ce în ce mai severe, provocate de natura circuitului întrerupt, este indicată în tabela 7-2.

Tabela 7-2

Clasificarea contactoarelor după categoriile de sarcină şi tipurile reprezentative de sarcină

Felul curentului	Simbolul (gradul de robustețe a cotactorului)	Tipul reprezentativ de sarcină
Felul curentului	AC_1	— Sarcini neinductive sau slab inductive, ca de exemplu : cuptoare de rezistență. — Circuite în care contactorul are numai rolul de a scurtcircuita rezistențe, fără posibilitatea deschiderii sub sarcină.
	AC_2	— Pornirea şi oprirea motoarelor electrice cu inele, inclusiv contactoarele din circuitele de comandă a vitezei motorului prin scurtcircuitare de rezistențe sau prin deschiderea sub sarcină a acestor circuite. — Pornirea în stea-triunghi a motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit. — Circuite de iluminat fluorescent fără compensare. — Circuite cu lămpi cu filament. — Contactoare asociate cu relee de suprasarcină.
	AC_3	— Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit. — Oprirea aceloraşi motoare după atingerea turației de regim. — Comanda cuptoarelor cu inducție, compensate prin condensatoare.
	AC_4	— Pornirea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit. — Întreruperea alimentării motorului în perioada de pornire (întreruperea curentului de pornire), aşa cum apare frecvent la unele maşini-unelte, macarale de siderurgie, laminoare etc. — Inversarea sensului de mers al acestor motoare, în timp ce motorul este în mers.
Curent continuu	DC_1	— Stabilirea şi întreruperea alimentării unor sarcini neinductive sau puțin inductive. — Comanda cuptoarelor cu rezistență. — Scurtcircuitarea de rezistențe fără deschidere în sarcină.
	DC_2	— Pornirea motoarelor cu excitație în derivație. — Întreruperea alimentării acestora după atingerea turației de regim.
	DC_3	— Pornirea motoarelor cu excitație în derivație. — Întreruperea alimentării acestora în perioada de pornire. — Inversarea sensului de mers al acestora.

con. tab. 7—2

Felul curentului	Simbolul (gradul de robustețe a contactorului)	Tipul reprezentativ de sarcină
	DC_4	— Pornirea motoarelor cu excitație serie. — Oprirea alimentării acestora după atingerea turației de regim. — Scurtcircuitarea de rezistențe cu posibilitatea deschiderii de sarcină.
	DC	— Pornirea directă a motoarelor cu excitație serie. — Întreruprea alimentării acestora în perioada de pornire. — Inversarea sensului de mers al acestor motoare. — Frînarea în contracurent. — Contactoare asociate cu relee de curent maximal.

3. CONTACTOARE CU RELEE

a. Elemente funcționale

În funcționarea motoarelor electrice apar frecvent situații în care motorul este supraîncărcat, ceea ce, dacă suprasarcina se menține, poate provoca arderea motorului prin depășirea temperaturilor admise de bobinaj.

Pentru protecția și comanda motoarelor electrice se obișnuiește să se asocieze, în același ansamblu (în aceeași carcasă) un contactor, trei relee electromagnetice și două sau trei relee termice, fiecare dintre acestea preluînd o anumită funcție.

● **Contactorul** îndeplinește funcția de aparat de manevră, închizînd sau deschizînd circuitul principal, la comanda voită a unui operator. Cînd în instalația protejată se produce însă ceva anormal, deschiderea sa poate fi provocată și în mod automat, de un releu.

● **Releele electromagnetice** asigură protecția instalației împotriva scurtcircuitelor, comandînd fără întîrziere deschiderea contactorului.

● **Releele termice** asigură protecția instalației împotriva suprasarcinilor, comandînd deschiderea contactorului cînd curentul depășește valoarea normală un timp mai îndelungat. Se obține în felul acesta, un ansamblu cu care se pot realiza atît operațiile de manevră, cît și protecția instalației.

Pentru situații în care apar curenți mari de scurtcircuit, se prevăd siguranțe fuzibile în serie cu contactorul, acestea preluînd sarcina de întrerupere a curenților de scurtcircuit a căror valoare depășește puterea de rupere a contactorului (în acest caz nu se mai montează relee electromagnetice).

b. Funcționarea contactorului cu relee

În figura 7-41 este reprezentată schema electrică a unui contactor cu relee. Modul de funcționare conform acestei scheme este următorul :

— În cazul cînd contactorul este deschis, cu ajutorul manetei sau al butonului de comandă *3* se închide contactul de închidere *I*. În felul acesta, bobina electromagnetului de acționare *4* este pusă sub tensiune, fiind alimentată prin următorul circuit : faza *R*, contactul de deschidere *D* al butonului de comandă *3*, contactul de închidere *I* al aceluiași buton, contactele auxiliare *8*, bobina electromagnetului *4*, faza *S*.

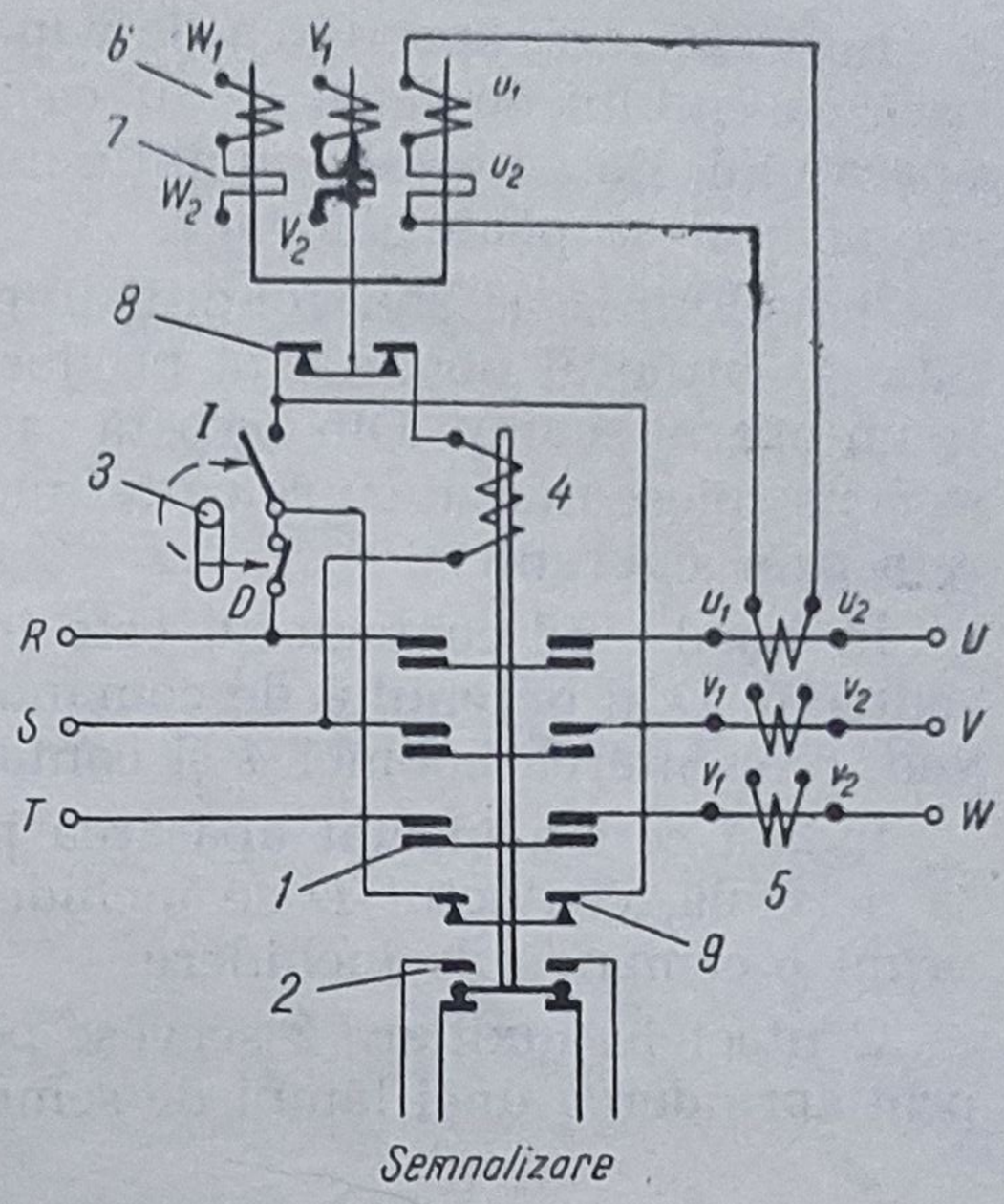


Fig. 7-41. Contactor cu relee — schema electrică.

— Fiind astfel pusă sub tensiunea dintre fazele *R* și *S*, bobina electromagnetului de acționare *4* determină închiderea contactorului, punerea sub tensiune a bornelor *U*, *V*, *W* și, deci, punerea sub tensiune a motorului (sau a altui consumator) conectat la aceste borne.

— O dată cu închiderea contactelor principale *1*, se închid și contactele de reținere *9*, astfel încît bobina electromagnetului de acționare *4* rămîne sub tensiune chiar dacă nu se mai acționează asupra butonului de închidere *I*.

În timp ce contactul *I* este închis, înfășurările primare U_1 — U_2, V_1 — V_2 și W_1 — W_2 ale transformatoarelor de curent *5*, sînt parcuse de curentul din circuitul principal, iar secundarul acestora alimentează, cu un curent redus proporțional, circuitul releelor de protecție *6* și *7*.

— *În cazul în care sarcina motorului este prea mare* și curentul care străbate circuitul principal crește peste valorile admise, curentul din secundarul transformatorului de curent *5* crește și el, determinînd încălzirea releelor cu bimetal *7*. Dacă se depășește sarcina permisă un timp mai îndelungat, releele cu bimetal *7* acționează asupra contactului auxiliar, *8*, deschizîndu-l.

— Deschiderea contactului auxiliar *8* determină întreruperea alimentării bobinei *4* și, sub acțiunea arcurilor antagoniste, contactorul se deschide. Reanclanșarea nu se poate realiza imediat, ci numai după ce bimetalele s-au răcit și permit închiderea contactului *8*.

— În mod analog, *dacă se produce un scurtcircuit dincolo de bornele U, V, W*, bobinele releelor electromagnetice *6* sînt alimentate prin intermediul transformatoarelor de curent *5* cu un curent mare. Aceste relee comandă imediat deschiderea contactului auxiliar *8* și deci deschiderea contactorului.

In acest caz, capacitatea de rupere a contactorului trebuie să fie superioară curentului de scurtcircuit ce poate să apară în locul de montare al aparatului. Dacă această condiție nu este îndeplinită, în caz de scurtcircuit contactorul se poate distruge.

Îndeplinirea acestei condiții impune supradimensionarea contactorului față de curentul nominal al produsului „contactor cu relee" și duce deci la un aparat scump. Din această cauză majoritatea contactoarelor cu relee se construiesc numai cu relee termice, protecția la scurtcircuit fiind asigurată prin siguranțe.

În cazul cînd contactorul este închis, pentru a-l deschide se apasă pe contactul *D* al butonului de comandă *3* ; prin aceasta se întrerupe, în mod voit, alimentarea bobinei *4* și contactorul se deschide.

Îndată ce s-a încetat apăsarea pe butonul *D*, acesta revine în poziția sa normală, contactul *D* se închide și contactorul este pregătit pentru a primi o comandă de închidere.

Contactele auxiliare *2* servesc pentru a indica la distanță (de exemplu prin aprinderea unei lămpi de semnalizare) poziția contactorului.

4. ÎNTRERUPTOARE AUTOMATE

a. Generalități

Întreruptorul automat este definit ca fiind un aparat mecanic de conectare capabil să închidă, să suporte și să întrerupă curenții în condițiile normale ale circuitului, și de asemenea, în condiții prestabilite, să închidă, să suporte pe o durată specificată și să întrerupă curenți în condiții anormale (suprasarcină, scurtcircuit etc.).

Un întreruptor automat funcționează în general cu o frecvență de conectare redusă.

Întreruptorul automat de joasă tensiune trebuie deci să îndeplinească două *funcțiuni principale* în schemele electrice : *să asigure continuitatea circuitului*, exercitînd un control asupra valorii curenților normali din exploatare și *să întrerupă continuitatea circuitului* în cazul apariției în instalație, în punctul unde e montat întreruptorul, a unor curenți ce depășesc valorile normale (suprasarcini, scurtcircuite). Unele întreruptoare au rolul de a întrerupe continuitatea circuitului și în cazul scăderii tensiunii sub o anumită valoare.

Pentru a realiza funcțiunile de mai sus, un întreruptor trebuie să fie compus din următoarele părți : căi de curent, contacte, dispozitiv de stingere a arcului electric, mecanism de acționare, relee de diverse tipuri.

b. Clasificare

Întreruptoarele automate se pot clasifica după diferite criterii, ca spre exemplu : sursa de energie, numărul de poli, destinația etc.

● **După sursa de energie utilizată la acționarea aparatului** se disting :

— *întreruptoare cu acţionare manuală*, la care operaţia de închidere este efectuată exclusiv prin intermediul unei energii manuale aplicate direct. Operaţia de deschidere poate fi efectuată tot manual sau prin intermediul releelor ;

— *întreruptoare cu acţionare electrică*, la care energia necesară pentru închidere este dată de un electromagnet sau motor electric ;

— *întreruptoare cu acţionare pneumatică*, la care energia necesară pentru închidere este dată de un dispozitiv pneumatic ca spre exemplu cilindri de forţă, dispozitive de membrană etc.

● **După modul de acţionare la închidere,** se deosebesc :

— *întreruptoare cu închidere dependentă*, la care viteza de închidere depinde de viteza de acţionare ;

— *întreruptoare cu închidere independentă*, la care viteza de închidere este stabilită şi realizată prin construcţie şi este independentă de viteza de acţionare ;

— *întreruptoare cu închidere prin acumulare de energie*, la care operaţia de închidere este efectuată prin intermediul unei energii acumulate într-un mecanism înainte de efectuarea operaţiei şi suficientă pentru a efectua operaţia de închidere. Acumularea de energie se poate face în resoarte, greutăţi etc., eliberarea acestei energii pentru realizarea închiderii putîndu-se face prin comandă manuală, electrică etc.

● **După numărul de poli,** se disting :

— *întreruptoare monopolare*, utilizate în special în instalaţiile interioare pentru protecţia circuitelor de lumină, a aparatelor electrocasnice, precum şi în unele domenii industriale ;

— *întreruptoare bipolare*, utilizate în special în instalaţiile de curent continuu ;

— *întreruptoare tripolare*, utilizate în circuitele de curent alternativ trifazat ;

— *întreruptoare tetrapolare*, utilizate în sisteme speciale de distribuţie.

● **După destinaţie,** se pot grupa astfel :

— *întreruptoare pentru protecţia circuitelor monofazate de putere redusă ;*

— *întreruptoare de putere pentru protecţia motoarelor ;*

— *întreruptoare pentru protecţia reţelelor ;*

— *întreruptoare pentru protecţia transformatoarelor.*

● **După timpii totali de deschidere la curent de scurtcircuit,** se deosebesc, în ordinea mărimii timpilor de deschidere, următoarele tipuri :

— *întreruptoare limitatoare*, la care timpul total de deschidere nu depăşeşte 5 ms şi care limitează astfel valoarea de vîrf a curenţilor de scurtcircuit. Cînd *întreruptorul limitator* este echipat cu un declanşator special, el se numeşte *ultrarapid* şi poate fi utilizat şi la întreruperea curentului continuu ;

— *întreruptoare rapide*, la care timpul total de deschidere nu depăşeşte 10 ms ;

— *întreruptoare normale*, la care timpul total de deschidere este pînă la 100 ms ;

● **După felul curentului ce străbate căile principale de curent,** se disting :

— *întreruptoare pentru curent alternativ ;*
— *întreruptoare pentru curent continuu ;*
— *întreruptoare pentru curent continuu și alternativ.*

● **După tipul releelor sau declanșatoarelor** cu care sînt echipate, se utilizează :

— *întreruptoare echipate cu relee sau declanșatoare termice* pentru declanșarea la suprasarcină ;

— *întreruptoare echipate cu relee sau declanșatoare electromagnetice* pentru declanșarea la scurtcircuit ;

— *întreruptoare echipate cu relee sau declanșatoare electromagnetice de tensiune ;*

— *întreruptoare echipate cu diferite tipuri de relee și declanșatoare.*

● **După modul de fixare în instalație,** se disting :

— *întreruptoare pentru montare fixă ;*
— *întreruptoare în construcție debroșabilă.*

Clasificarea de mai sus nu epuizează posibilitățile de utilizare, echipare etc. ale întreruptoarelor automate, existînd încă numeroase alte criterii de clasificare (tipul de protecție, mediul de stingere al arcului, posibilități de instalare etc.).

Spre deosebire de contactoare, întreruptoarele automate sînt menținute în poziție anclanșată cu ajutorul unui mecanism de zăvorîre (broască), mecanic sau electromagnetic, asupra căruia acționează releele. Releele, care acționează la suprasarcină, de obicei sînt de tipul termobimetalice, iar releele de protecție la scurtcircuit — electromagnetice. Cînd releele acționează direct asupra mecanismului de zăvorîre, se numesc *declanșatoare*.

Întreruptoarele automate pot fi anclanșate sau declanșate fie *manual* prin intermediul unei manete de acționare de pe aparat, fie *de la distanță*, comanda fiind realizată prin electromagnet de anclanșare, servomotor sau dispozitiv pneumatic.

Electromagneții de anclanșare rămîn sub tensiune un timp scurt, dezvoltînd o mare forță pentru a putea întinde arcurile antagoniste și a arma mecanismul de declanșare, deosebindu-se esențial de electromagneții contactoarelor care rămîn conectați timp îndelungat.

c. Întreruptoarele automate mici

Întreruptoarele automate mici sînt desinate protecției conductoarelor din instalațiile casnice și industriale ca : circuite de lumină, circuite de comandă, circuite pentru aparate electrocasnice, precum și protecției aparatajului din aceste instalații. Ele sînt utilizate și pentru protecția instalațiilor ce conțin motoare de mică putere. Aceste întreruptoare automate asigură protecția circuitelor atît împotriva curenților de suprasarcină cît și împotriva curenților de scurtcircuit.

Indiferent de varianta constructivă, întreruptorul se compune din următoarele elemente : soclu din material izolant termic și electric, mecanisme de zăvorîre, contacte fixe și mobile, borne de racord ale conductoarelor, camere de stingere, releu termic și electromagnetic, capac, buton sau manetă de acționare.

● **Funcţionare.** Deoarece întreruptoarele automate mici se execută de obicei în construcţia monopolară, ele se numesc pe scurt *întreruptoare monopolare*.

În figura 7-42, *a* este prezentată o secţiune printr-un întreruptor monopolar. Cu ajutorul butonului *1* se acţionează manual asupra mecanismului de zăvorîre, care realizează închiderea contactelor fix şi mobil. Deschiderea contactelor se poate face fie cu ajutorul butonului *2*, fie sub acţiunea releelor termic şi electromagnetic care exercită o forţă asupra unei piese care eliberează clichetul de zăvorîre. Mecanismul de zăvorîre fiind cu declanşare liberă, nu permite aclanşarea pe scurtcircuit a aparatului şi nici imediat după o declanşare la suprasarcină comandată de releul termic. Acţionarea din nou în acest caz este posibilă numai după revenirea lamelei bimetalice a releului termic.

Există şi întreruptoare monopolare acţionate prin manetă. Întreruptoarele monopolare cu filet pot fi montate în socluri de siguranţe normale, avînd un soclu filetat cu filet E 27. Alte construcţii permit montarea aparentă sau îngropată a aparatului.

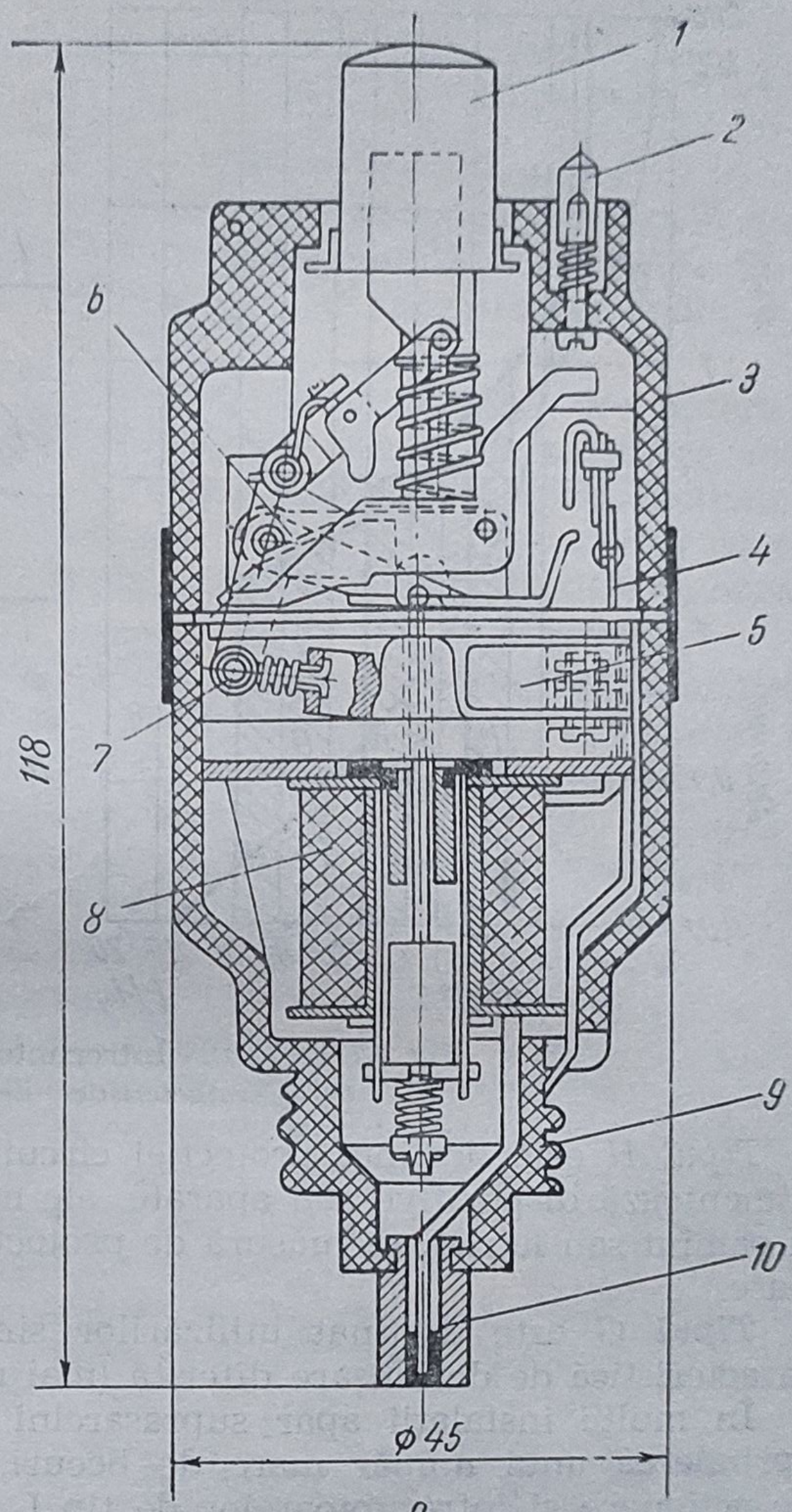


Fig. 7—42. Întreruptor monopolar :
a — întreruptor monopolar cu filet ; 1 — buton de închidere ; 2 — buton de deschidere ; 3 — carcasă ; 4 — element bimetalic ; 5 — contacte fixe ; 6 — mecanisme de zăvorîre ; 7 — contact mobil ; 8 — releu electromagnetic ; 9 — contact cu filet pentru fixarea în soclul elementului de siguranţă ; 10 — contact de fund.

● **Caracteristicile de declanşare ale releelor automate mici** depind de felul circuitului pe care trebuie să-l protejeze întreruptorul automat. Se deosebesc astfel trei tipuri de întreruptoare : L, H şi G, diferenţiate numai prin caracteristica de declnşare (fig. 7-42, *b*).

Tipul L este destinat protecţiei circuitelor de lumină casnice şi industriale, a circuitelor de comandă şi a instalaţiilor conţinînd motoare mici.

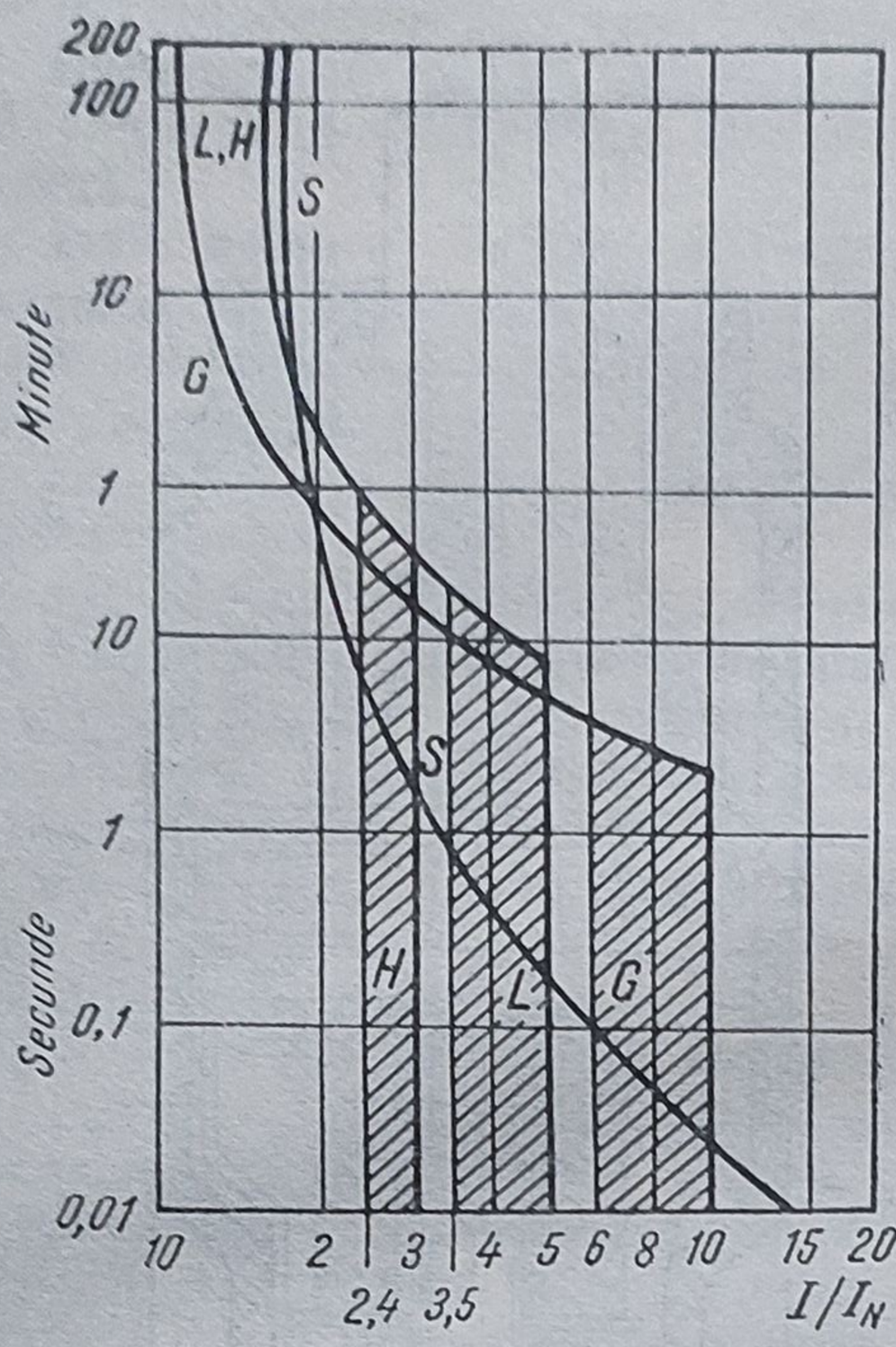


Fig. 7-42. *(b)*. Întreruptor monopolar :
b — caracteristici de declanșare.

Tipul H este destinat protecției circuitelor casnice și industriale care alimentează dispozitive sau aparate, ale căror părți exterioare sînt legate la pămînt sau la nul, ca măsură de protecție împotriva tensiunilor periculoase.

Tipul G este destinat utilizărilor similare tipului L, avînd însă o caracteristică de declanșare diferită (mai rapidă la suprasarcină).

În multe instalații apar suprasarcini la pornirea motoarelor sau la aprinderea unui număr mare de becuri, care se încadrează în cîmpul de acționare al întreruptoarelor de tip L și H și fac ca acestea să acționeze. Pentru suprasarcini de acest fel, deoarece nu trebuie să se întrerupă circuitul, sînt adecvate întreruptoare de tip G la care releul electromagnetic va suporta o creștere de curent pînă la de 2,5 ori curentul nominal, dar va intrerupe fără temporizare circuitul pentru suprasarcini cuprinse între 5—10 ori sarcina nominală.

Motoarele sînt mai sensibile la suprasarcini termice în comparație cu circuitele electrice : din această cauză întreruptorul de tip G va suporta o suprasarcină continuă egală cu 1,05 ori curentul nominal, mult mai mică decît pentru întreruptoarele tip L și H.

În afară de întreruptoarele monopolare de tip L, H, G, mai există și un al parulea tip, F ; *întreruptorul monopolar de tip F* are utilizări similare tipului G și caracteristică de declanșare apropiată de a tipului G. De menționat, că pentru acest întreruptor caracteristica de declanșare a releului este independentă de temperatura mediului ambiant.

d. Intreruptoarele automate de putere

Intreruptoarele automate de putere pentru curent alternativ și continuu se folosesc pentru protecția motoarelor electrice, a rețelelor de distribuție sau a transformatoarelor. Aceste întreruptoare asigură protecția în cazul apariției curenților de suprasarcină și de scurtcircuit și în cazul scăderii tensiunii din circuit sub anumite limite. Caracteristicile de protecție depind de tipurile de relee sau declanșatoare cu care sînt echipate întreruptoarele automate.

● **Elemente constructive.** Întreruptoarele automate de putere se compun din următoarele *elemente principale :* cadrul de susținere, mecanismul de zăvorîre, polii principali cu contactele principale, bornele de racord ale conductoarelor și camerele de stingere, polii auxiliari cu contactele auxiliare, dispozitivele de protecție (relee și declanșatoare), organul motor și carcasa.

Polii sînt executați într-o construcție compactă, ca unități monopolare independente ; căile de curent sînt fixate pe un *soclu* din material izolant avînd o mare rezistență mecanică și o higroscopicitate redusă.

Contactele fixe și mobile sînt realizate fiecare din două elemente de contact diferite, care au următoarele funcțiuni : *contactele principale* asigură trecerea curentului electric în timpul funcționării în regim permanent a întreruptorului, *iar contactele de rupere* suportă acțiunea arcului electric care se produce la întreruperea circuitului. Contactele principale se execută din profile de cupru sau aliaje speciale de argint, iar contactele de rupere — din aliaje rezistente la acțiunea arcului electric. Contactele de rupere se închid înaintea contactelor principale și se deschid în urma lor tocmai în scopul de a le proteja de acțiunea arcului. Forma, dimensiunile și materialele contactelor diferă în funcție de firma producătoare, tipul și capacitatea de rupere a întreruptorului.

Fiecare pol este protejat de o *cameră de stingere* executată din material refractar avînd o mare rezistență termică și mecanică și prevăzută cu plăcuțe deionice.

Întreruptorul este prevăzut cu un *sistem de semnalizare mecanic sau optic* care indică : poziția resortului de anclanșare, poziția contactelor, dacă s-a produs declanșare prin relee.

Ținînd seama de funcțiunile pe care trebuie să le îndeplinească în instalațiile electrice *și de performanțele necesare,* se deosebesc două construcții distincte de întreruptoare de putere : *întreruptoare în execuție deschisă* și *întreruptoare capsulate.*

● **Intreruptoare automate în execuție deschisă pentru stații** (fig. 7-43). Construcția robustă, ca și utilizarea unor soluții constructive speciale pentru elementele principale, le asigură acestor aparate capacități mari de rupere și o mare rezistență la solicitări mecanice și electrice. Echipate cu relee cu acțiune temporizată sau rapidă, aceste întreruptoare automate asigură o protecție selectivă a circuitului (întreruptoare selective), sau limitarea curenților de scurtcircuit de valori foarte ridicate (întreruptoare rapide — limitatoare).

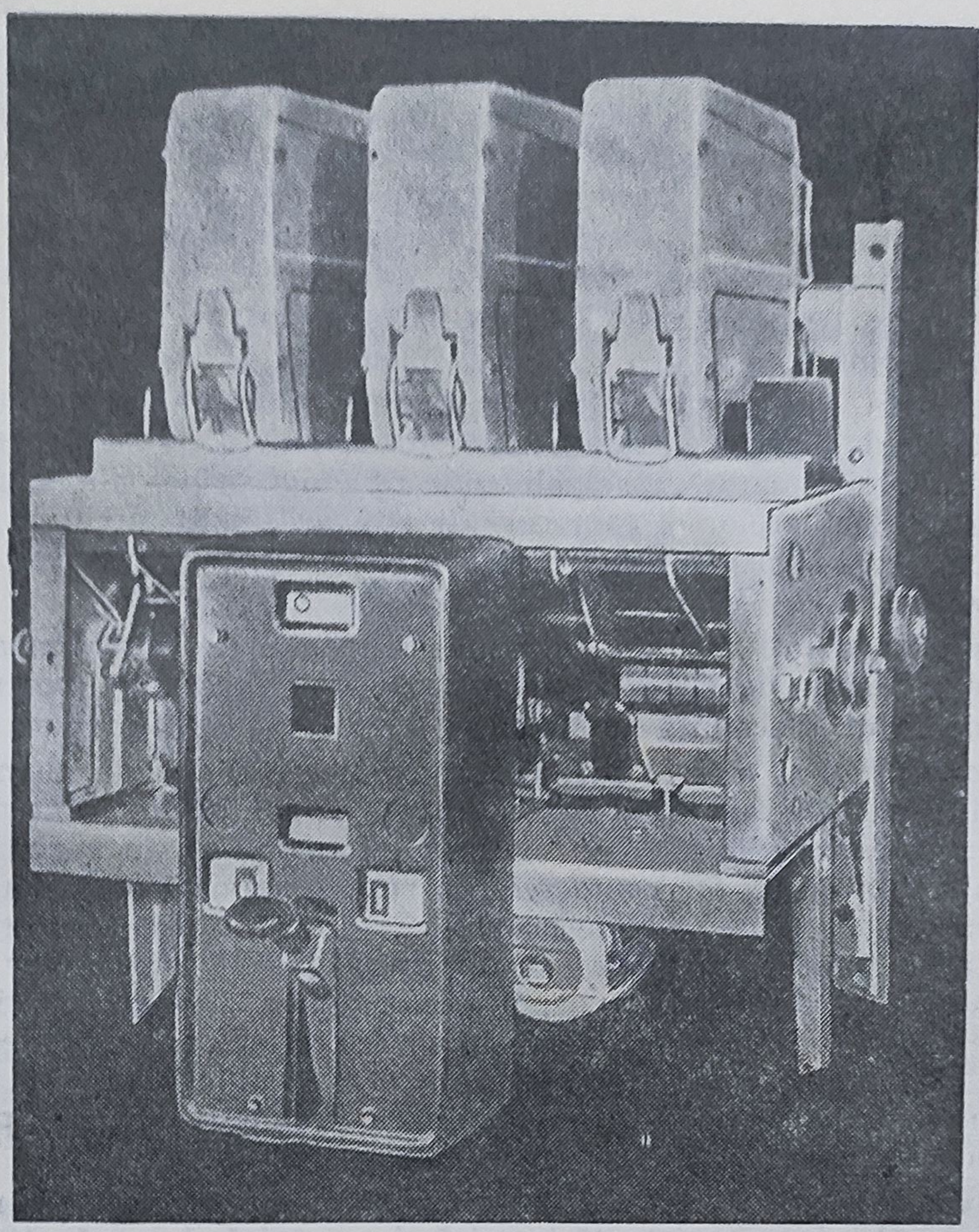


Fig. 7-43. Întreruptor automat pentru stații.

● **Întreruptoare automate tip compact, în execuție capsulată.** Aceste întreruptoare sînt închise în cutii executate din mase de presare electroizolante, care împiedică contactul accidental cu piesele sub tensiune și orice manifestări exterioare ale arcului electric ce apare la declanșare. Avînd gabarite reduse și capacități de rupere mai mici decît ale întreruptoarelor de stație aceste aparate se utilizează în situații cînd spațiul de montaj este redus și nu sînt necesare performanțe superioare. Datorită construcției capsulate și prețului de cost convenabil, aceste întreruptoare automate au o utilizare generală în instalațiile electrice, putînd fi întîlnite în tablouri complexe și mai ales în instalații individuale.

Întreruptoarele automate se pot executa, din punctul de vedere al montajului, în două *variante constructive* : întreruptoare fixe și întreruptoare debroșabile.

● **Întreruptoare fixe.** Acestea se fixează pe traverse din oțel profilat, cu ajutorul unor butoane. Acești suporți trebuie să fie rigizi și perfect coplanari, pentru a nu se produce deformări în întreruptor care să împiedice buna lui funcționare. Bornele se execută în două variante : pentru legături în față și pentru legături în spate.

● **Întreruptoare debroșabile.** Acestea sînt prevăzute de firmele producătoare cu un șasiu care poate aluneca pe două traverse (fig. 7-44). Bornele au o construcție bazată pe principiul priză — fișă care le permite realizarea cu ușurință a conexiunilor. Fiecare întreruptor de acest tip trebuie să fie prevăzut cu un blocaj mecanic care să împiedice introducerea sau scoaterea lui din montaj în poziția anclanșat (cu contactele principale închise)

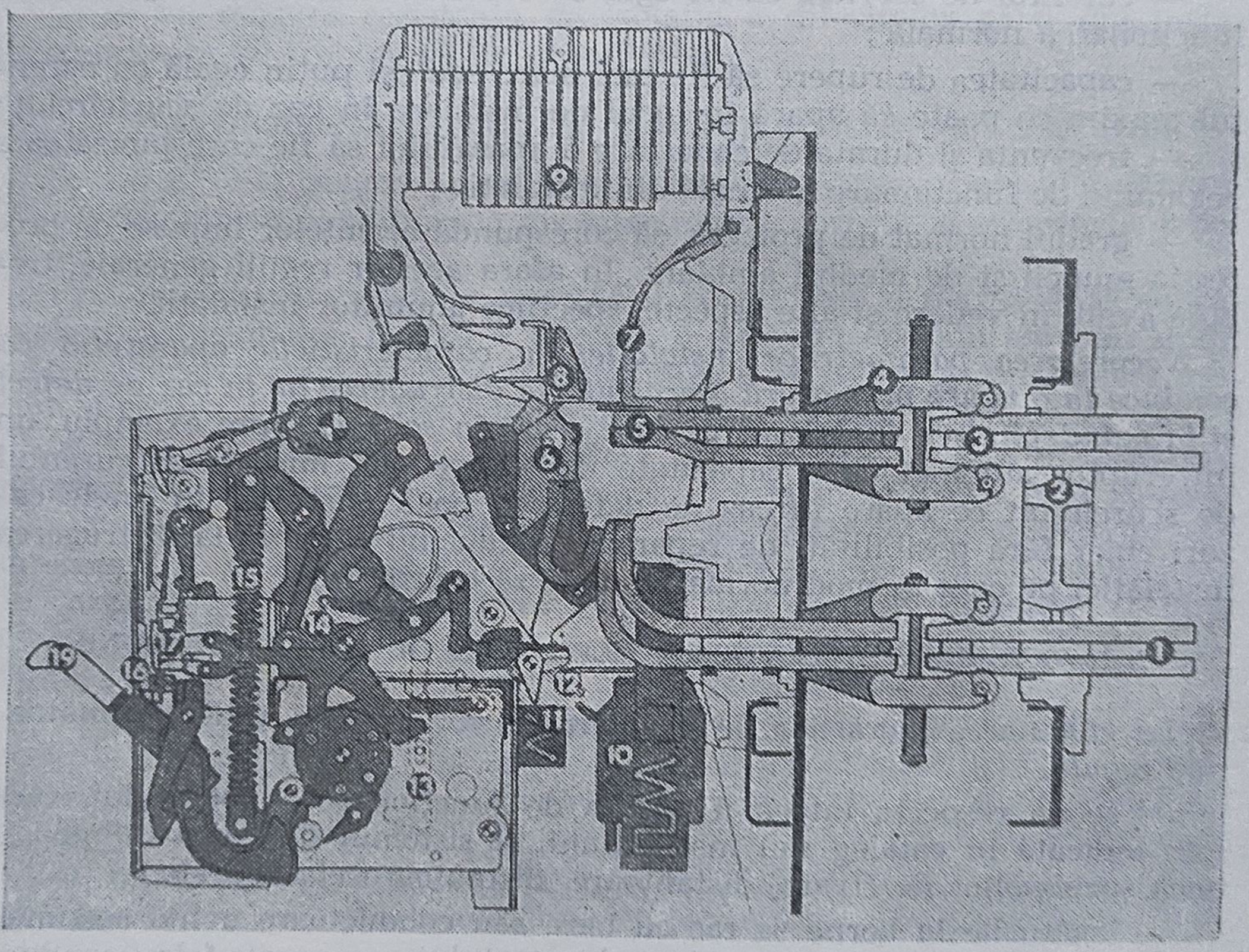


Fig. 7-44. Secțiune printr-un întreruptor debroșabil :

1 — bornă ; 2 — soclu izolant fix ; 3 — contact de secționare fix ; 4 — contact de secționare mobil ; 5 — contact principal fix ; 6 — contact principal mobil ; 7 — contact de rupere fix ; 8 — contact de rupere mobil ; 9 — camera de stingere ; 10 — declanșator electromagnetic ; 11 — declanșator de tensiune minimă ; 12 — ax de declanșare ; 13 — blocaj pentru împiedicarea introducerii sau scoaterii întreruptorului cu contactele închise ; 14 — mecanismul de anclanșare ; 15 — resortul de anclanșare ; 16 — butoane pentru comanda închiderii sau deschiderii ; 17 — semnalizare pentru poziția armat sau nearmat ; 18 — semnalizare pentru poziția închis-deschis ; 19 — leviere pentru armarea resortului.

H. EXPLOATAREA, ÎNTREȚINEREA ȘI REPARAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

1. ALEGEREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Pentru a satisface pe deplin funcțiunile ce trebuie să le îndeplinească în schemă (conectare, reglare, protecție etc.), *aparatele trebuie alese corespunzător parametrilor funcționali ai schemei.* În acest scop se vor avea în vedere în special următoarele :

— tensiunea nominală a aparatului să nu fie mai mică decît tensiunea rețelei în locul de instalare ;

— tensiunea de serviciu a aparatului să fie egală cu a rețelei în punctul de instalare ;

— curentul nominal al aparatului să fie mai mare sau cel puțin egal cu curentul ce-l va străbate în funcționarea normală ;

— curentul de serviciu să fie egal cu curentul ce străbate aparatul în funcționarea normală ;

— capacitatea de rupere să fie mai mare sau cel puțin egală cu curentul maxim ce poate să apară în locul de instalare în caz de scurtcircuit ;

— frecvența și durata de conectare a aparatului să fie corespunzătoare regimului de funcționare normală din instalație ;

— gradul normal de protecție să corespundă cerințelor impuse de protecția muncii și de mediul ambiant. În afara acestor reguli generale, trebuie avute în vedere și alte aspecte, specifice anumitor instalații.

Necorelarea parametrilor instalației cu caracteristicile aparatului va conduce la o uzură prematură a acestuia, la distrugerea lui în caz de defect și la neîndeplinirea funcțiunii pe care o are în schemă. Spre exemplu, un întreruptor automat cu o capacitate de rupere mai mică decît curentul de scurcircuit ce apare în caz de defect se poate distruge, în unele cazuri chiar fără posibilități de reparare, conducînd chiar și la distrugerea instalației pe care în mod normal trebuie să o protejeze.

2. INSTALAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

La efectuarea lucrărilor de instalare se vor avea în vedere următoarele *reguli :*

— se va respecta întocmai poziția de funcționare a aparatului, care este indicată în catalog sau instrucțiuni, și sistemul de fixare (dimensiunea șuruburilor de fixare, distanțoare, distanțoare elastice etc.) ;

— legăturile la borne se fac cu bare sau conductoare avînd secțunea corespunzătoare curentului nominal al aparatului ; nu se vor folosi conductoare mai groase, care nu pot fi bine fixate la borne și care pot produce deformarea căii de curent din cauza efortului mecanic ; de asemenea, nu se vor folosi nici conductoare mai subțiri, care se pot încălzi peste limitele admisibile ;

— se vor strînge bine toate șuruburile de borne cu șurubelnițe sau chei potrivite ;

— se va face legătura la pămînt sau la masă cu conductorul prevăzut și se va strînge bine șurubul de legătură ;

— se va completa aparatul cu toate piesele sau subansamblurile care s-au scos pentru a se înlesni montarea, cum sînt de exemplu camerele de stingere, capace etc. ;

— se verifică interblocajele mecanice acolo unde sînt prevăzute, conform instrucțiunilor de exploatare ;

— se vor unge contactele cu vaselină neutră în cazul în care între montare și darea în exploatare este prevăzut un interval de timp mai mare ;

— se repară cu vopsea piesele sau carcasele vopsite al căror strat acoperitor s-a deteriorat prin lovituri sau zgîrieturi în timpul montării ; pentru aparatele montate în stații de distribuție este necesar ca după terminarea montajului în toată stația, să se facă o curățenie amănunțită ;

— se va măsura rezistența de izolație a diferitelor părți din instalație ; aceasta nu trebuie să fie sub 10 MΩ.

3. INTREȚINEREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

În cazul unei alegeri și instalări corespunzătoare, buna funcționare a aparatelor este condiționată de întreținerea corectă și eventuala reparare a acestora.

Prin întreținere corectă a aparatelor se înțelege o permanentă supraveghere a instalației, pentru a executa o serie de operații care au drept scop asigurarea unei funcționări îndelungate și sigure a aparatelor, precum și pentru a putea interveni în cazul apariției unor defecte.

● **Operații generale de întreținere.** Aparatele se curăță de praf sau de alte impurități prin suflare cu aer comprimat uscat sau prin ștergere cu o pensulă înmuiată în benzină. Cu această ocazie, se verifică gradul de uzură al mecanismelor ca și al tuturor pieselor aflate în mișcare. În cazul cînd este necesar și nu trebuie demontat tot aparatul, se înlocuiesc piesele uzate. La ștergerea de praf se va insista asupra părților izolante, pentru îndepărtarea pulberii de metal acumulat.

După ce sînt curățate, piesele în mișcare trebuie unse cu unsoare consistență tip U 65 sau U 80 sau cu alte unsori recomandate în instrucțiunile de exploatare date de firma producătoare. Se vor unge în special mecanismele de transmitere a mișcării, lagărele, articulațiile contactelor etc.

● **Întreținerea contactelor.** Durata de viață a aparatelor este variabilă în funcție de tipul aparatului, de regimul de conectare și de frecvența de conectare. Dacă regimul de funcționare este mai greu decît cel indicat de fabrica producătoare, durata de viață a contactelor scade foarte mult, și invers, durata de viață a contactelor crește dacă regimul de funcționare este mai ușor.

O condiție importantă pentru exploatarea corectă este utilizarea camerelor de stingere acolo unde construcția le prevede.

Întreținerea corectă a contactelor asigură o funcționare corespunzătoare a aparatului și o micșorare a uzurii electrice.

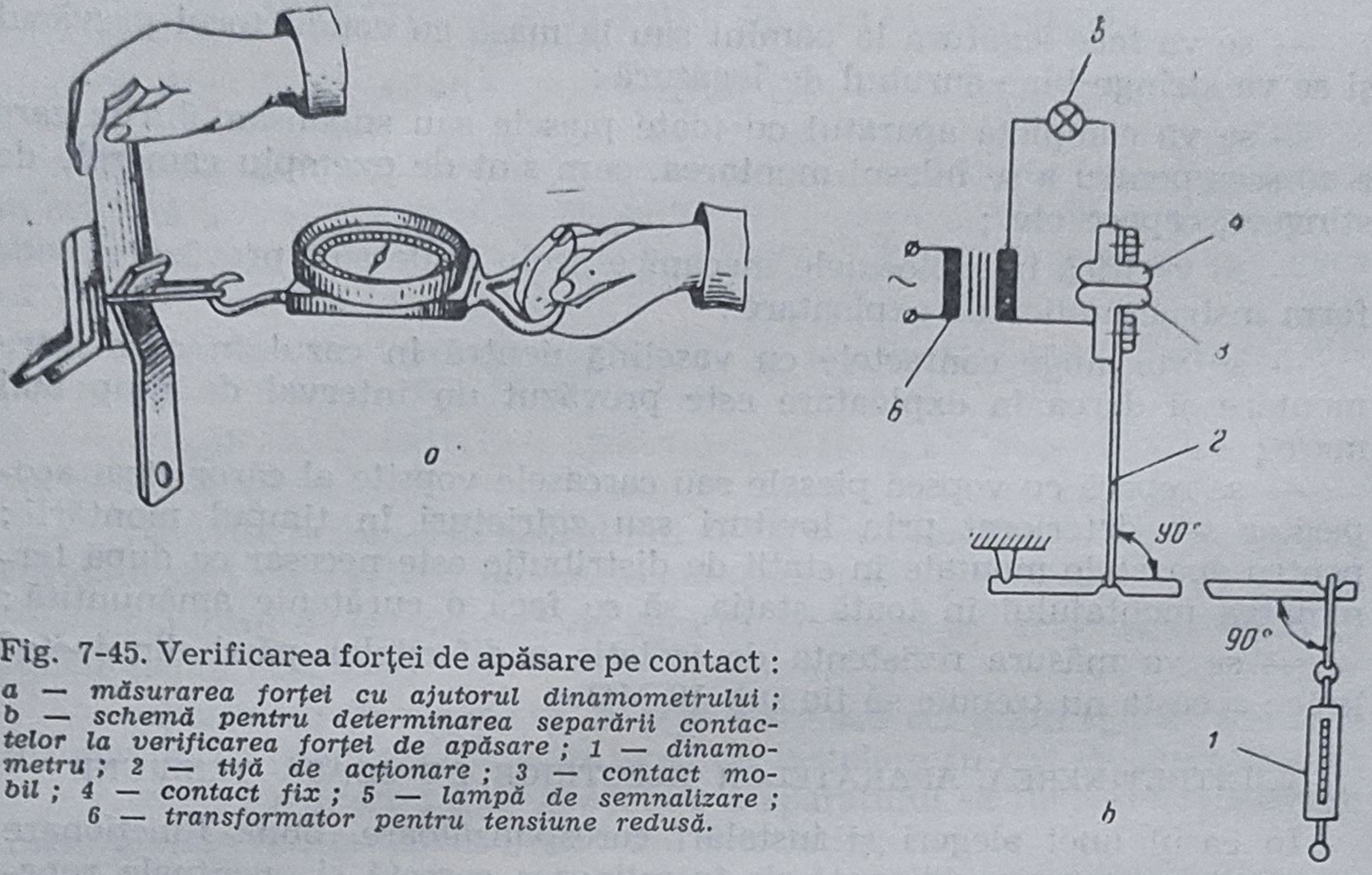


Fig. 7-45. Verificarea forței de apăsare pe contact :
a — măsurarea forței cu ajutorul dinamometrului ; b — schemă pentru determinarea separării contactelor la verificarea forței de apăsare ; 1 — dinamometru ; 2 — tijă de acționare ; 3 — contact mobil ; 4 — contact fix ; 5 — lampă de semnalizare ; 6 — transformator pentru tensiune redusă.

Periodic, se execută o examinare atentă a instalației, insistîndu-se asupra stării suprafeței contactelor. Cu această ocazie, se verifică închiderea și deschiderea contactelor principale și auxiliare.

Dacă este cazul, contactele oxidate sau cu urme de metal topit care apar în timpul întreruperii arcului electric, se curăță cu ajutorul unei pile fine. Utilizarea hîrtiei emeri este interzisă. După curățare, contactele se ung cu vaselină pentru contacte.

Contactele trebuie, de asemenea, curățate după întreruperea unui scurtcircuit.

După curățare, se va face o verificare a cursei în contact și a forței de apăsare pe contact (fig. 7-45).

Spre exemplu, la un contactor pentru măsurarea cursei în contact, acesta este anclanșat ; cu ajutorul unei lere sau al unui șubler se măsoară distanța *d* indicată în figura 7-46 pentru contactoarele cu rotație.

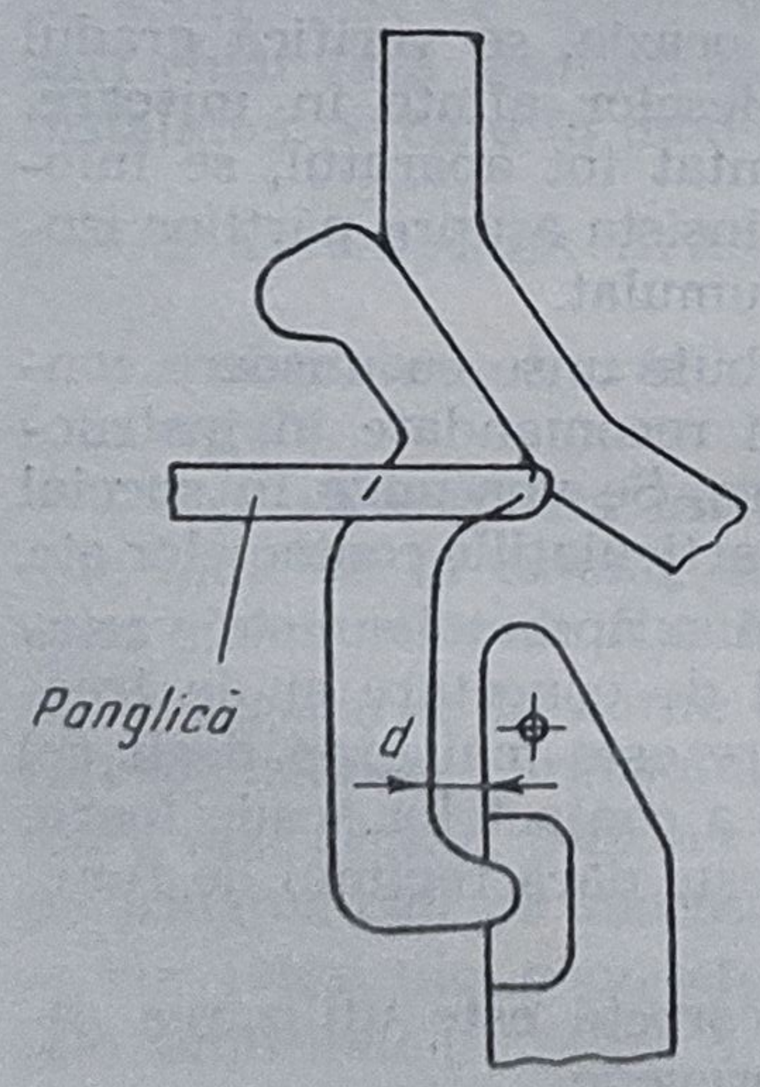


Fig. 7-46. Măsurarea cursei în contact.

Măsurarea cursei și forței de apăsare pe contact permite stabilirea gradului de uzură al contactului. O dată cu uzarea contactelor se micșorează grosimea acestora și scade valoarea cursei și forței de apăsare pe contact. Cînd grosimea contactului se reduce la jumătate, contactul trebuie înlocuit. Se recomandă, în măsura posibilităților, să se schimbe ambele contacte (fix și mobil) pentru a se asigura o bună așezare.

Contactele uzate se înlocuiesc cu piese de schimb originale. Dacă se utilizează piese confecționate în ateliere proprii, trebuie ca materialul folosit să fie identic cu cel al contactului original.

● **Întreținerea camerelor de stingere.** Întreținerea corectă a camerelor de stingere are drept scop asigurarea condițiilor care permit stingerea eficientă a arcului electric. Pentru aceasta, periodic, se examinează starea pereților camerei de stingere. Dacă se observă funingine sau urme de metal topit, pereții se șterg cu o cîrpă sau bumbac și urmele de metal se răzuie. Plăcile deionice afumate se curățâ, de asemenea, prin ștergere cu o cîrpă sau cu bumbac înmuiat în benzină. Dacă, din cauza ruperii unui arc electric foarte violent, plăcile deionice se topesc, ele trebuie înlocuite cu plăci de oțel cuprat de aceleași dimensiuni. Uneori, picături de metal topit, datorită arcului electric, pot cădea pe bobina de suflaj producînd scurtcircuitarea unor spire. Aceste picături de metal se îndepărtează cu vîrful șurubelniței.

Camera de stingere trebuie să fie bine fixată în timpul funcționării aparatului. În acest scop, se utilizează diverse construcții de lamele arcuitoare sau șuruburi cu ajutorul cărora camera de stingere este fixată de un element fix. În acest mod, se împiedică transmiterea șocurilor și deci spargerea camerei de stingere.

Contactele trebuie centrate în interiorul camerei, pentru a împiedica o eventuală frecare de pereții acesteia.

Pentru înlocuirea camerei de stingere, se desfac șuruburile sau alte elemente care o fixează.

● **Întreținerea electromagneților.** Electromagneții au o durată de viață mai mare și o întreținere mai ușoară decît contactele.

În cadrul operațiilor de întreținere, trebuie să se observe dacă suprafața polară este curată. În cazul în care pe suprafața polară se constată urme de praf sau alte impurități, acestea se îndepărtează prin ștergere cu o cîrpă. Pentru a împiedica apariția ruginei, suprafața polară se unge cu vaselină neutră.

În cazul unei dereglări în timpul funcționării datorită slăbirii elementelor de fixare, se reglează întîi poziția armăturii mobile, după ce s-a slăbit strîngerea șuruburilor care o fixează, iar apoi — dacă mai este cazul — se reglează și poziția armăturii fixe.

Armătura mobilă trebuie să se deplaseze ușor. De asemenea, miezul armăturii mobile trebuie să intre ușor în interiorul bobinei. Jocul între suprafața interioară a bobinei și miezul magnetic trebuie să fie de minimum 2—3 mm (la electromagneții de curent alternativ).

Din cauza unei funcționări îndelungate, se produce o uzură a lagărelor, care împiedică închiderea corectă a magnetului. Dacă jocul este mai mare de circa 1 mm, se înocuiesc lagărele.

Pentru a se asigura buna funcționare a electromagnetului, bobina trebuie să fie utilizată la tensiunea pentru care a fost dimensionată și în medii cu umiditate și temperatură normală. Trebuie să se acorde atenție legăturilor bobinei la borne pentru ca, în cazul cînd se distrug din cauza șocurilor sau a manipulărilor incorecte, să poată fi înlocuite la timp.

O atenție deosebită trebuie să se acorde, în timpul tuturor operațiilor de întreținere, reostatelor care asigură deschiderea mai rapidă a armăturii

mobile în cazul întreruperii tensiunii de alimentare a bobinei. O manipulare defectuoasă poate produce o deformare a resortului şi deci o modificare a caracteristicii forţelor rezistente ; aceasta poate duce la o funcţionare incorectă a aparatului.

● **Întreţinerea contactelor auxiliare.** Intreţinerea contactelor auxiliare se face în mod asemănător cu a contactelor principale.

● **Verificarea etanşeităţii carcaselor.** Etanşeitatea carcaselor trebuie verificată periodic.

Verificarea carcaselor care asigură protecţia contra pătrunderii prafului şi apei, constă în verificarea stării garniturii de cauciuc şi a strîngerii şuruburilor. Garniturile strivite, crăpate sau care îşi pierd elasticitatea trebuie înlocuite cu garnituri confecţionate din cauciuc moale.

Carcasele aparatelor în execuţie antigrizutoasă şi antiexplozivă se verifică periodic şi în special după curăţirea periodică a ramelor de oxizi. În cazul în care un calibru pentru interstiţii cu grosimea prescrisă de norme nu pătrunde între rama capacului şi a cutiei, carcasa este corespunzătoare. În caz contrar, este necesară înlocuirea aparatului cu altul nou.

Etanşeitatea cuvelor cu ulei se verifică prin examinarea pierderilor de ulei ce apar la ramele de îmbinare. Dacă se constată pierderi de ulei, se scoate contactorul din cuvă, se goleşte cuva de ulei, se curăţă şi se repară locurile defecte prin sudare sau lipire.

● **Înlocuirea uleiului.** Datorită întreruperii repetate a arcului electric, uleiul din cuve se degradează şi deci trebuie înlocuit. Schimbarea uleiului se face după circa 5 000 ... 6 000 deconectări, în funcţie de frecvenţa de conectare a aparatului respectiv.

Pentru înlocuirea uleiului, se execută următoarele *operaţii* :

— se scoate aparatul din cuvă ;

— se goleşte cuva de uleiul existent ;

— se spală şi se curăţă cuva de rezidurile depuse ;

— se verifică dacă nu s-a şters vopseaua din interiorul cuvei. Dacă se constată porţiuni nevopsite, cuva se va vopsi din nou, cu vopsea insolubilă în ulei (duco) ;

— se toarnă uleiul curat pînă la semnul indicat pe peretele cuvei. Uleiul utilizat pentru umplerea cuvei este ulei de transformator TR 2005. Nu se vor folosi alte tipuri de uleiuri minerale sau vegetale. Uleiul trebuie să fie curat şi bine uscat. Uscarea uleiului se face prin fierbere la temperatura de 250°C timp de 3—4 h ;

— după ce se introduce aparatul în cuvă, se fixează cuva şi se închide capacul ; se verifică apoi dacă nu există posibilitatea pătrunderii prafului, apei, rumeguşului de lemn, pulberii metalice etc., care duc la degradarea uleiului.

4. EXPLOATAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Exploatarea aparatelor începe cu darea în funcţiune a instalaţiei. Cu această ocazie se verifică încă o dată schema realizată la montare.

În tot timpul exploatării aparatelor electrice, trebuie ţinut seama că un aparat nu poate funcţiona decît *dacă este completat montat, dacă are*

legăturile corecte și dacă nu prezintă lipsuri de piese sau piese deteriorate. Piesele executate din materiale speciale — cum sînt contactele din argint, releele termobimetalice, piesele din materiale termorigide sau rășini de turnare, mecanismele — se vor procura numai de la fabricile constructoare. (Aceasta deoarece ele necesită — pe lîngă materiale — și anumite prelucrări tehnologice care nu pot fi realizate decît în cadrul întreprinderilor de specialitate.)

Un aparat incomplet sau cu piese distruse nu trebuie menținut în exploatare.

În special în stațiile de distribuție, la fiecare revizie *se va măsura rezistența de izolație,* deoarece, din cauza declanșării aparatelor, se formează vapori metalici care se depun pe izolații, înrăutățindu-le caracteristicile.

Se vor lua măsuri de curățire atunci cînd este necesar.

O atenție specială trebuie dată căilor de curent flexibil din liță sau bandă de cupru. Trebuie controlat dacă nu sînt fire sau lamele rupte datorită manevrelor repetate sau eforturilor electrodinamice. Cele rupte trebuie înlocuite cu legături de același fel. Legăturile flexibile se vor fixa la capete cu papuci din țeavă sau tablă, sau cu papuci speciali. Fixarea trebuie făcută prin strîngere sau prin lipire cu aliaj de cositor LP 40 (40% Sn+60% Pb) sau LP 60 (60% Sn+40% Pb). Decaparea nu trebuie făcută cu acid clorhidric sau azotic (apă tare), ci numai cu pastă decapantă fără acid, sau cu colofoniu (sacîz). Trebuie avut grijă ca aliajul de lipit să nu se ridice pe legătura flexibilă, pentru că o întărește și duce la ruperea ei, la o funcționare incorectă a aparatului.

Periodic se execută reglajul releelor, fie că acestea sînt incluse în întrerupătoare automate, fie că fac parte, individual, din instalație.

— *Reglajul releelor termice* se face în funcție de curentul absorbit de motorul protejat, curent a cărui valoare este dată de cataloage sau este fixată prin proiectul instalației. Pentru efectuarea reglajului se pornește motorul electric și apoi, scoțîndu-se siguranța fuzibilă de pe o fază, se fixează reglajul astfel ca releul să declanșeze în maximum 2 minute. Se montează la loc siguranța și se verifică dacă releul nu deconectează la pornire.

Se recomandă ca verificarea reglajului termic să se facă o dată la 3 luni, mai ales la trecerea de la un anotimp la altul, deoarece temperatura mediului ambiant poate influența reglajul.

— Pentru *verificarea releelor electromagnetice,* se așază pîrghia de reglaj la indicația minimă ($5I_n$). Se blochează motorul și se conectează întreruptorul. Dacă întreruptorul declanșează în termen, se va ridica reglajul mai sus, spre $10I_n$, pînă cînd releul nu mai declanșează.

În fiecare revizie se va verifica strîngerea șuruburilor și a piulițelor.

5. REPARAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

Așa cum s-a văzut la descrierea construcției aparatelor electrice, anumite elemente sînt comune tuturor aparatelor : contacte, bobine, mecanisme de zăvorîre etc. În timpul funcționării, acestea se pot defecta și repararea lor necesită o serie de operațiuni specifice.

● **Defectele şi repararea contactelor principale şi auxiliare.** În timpul funcţionării aparatului, se poate constata o *încălzire exagerată a locului de contact, efectuarea unui contact nesigur* sau *imposibilitatea manevrării datorită sudării contactelor.*

Cauzele acestor defecte sînt :

— uzura datorită ruperii arcului electric la manevrele normale de conectare — deconectare sau întreruperii unui scurtcircuit ;

— reducerea forţei de apăsare pe contact datorită uzurii electrice a contactelor sau datorită slăbirii resoartelor ;

— vibraţia şi sudarea contactelor ;

— creşterea rezistenţei de contact datorită stării necorespunzătoare a suprafeţei de contact.

În momentul cînd se constată defectele arătate, trebuie luate măsurile necesare pentru înlăturarea cauzelor care le-au produs. În acest scop, se scoate camera de stingere şi *se observă uzura contactului.* Dacă contactul a ajuns la jumătate din grosimea iniţială, el trebuie înlocuit cu piesa de rezervă dată de fabrica producătoare.

Verificarea forţei de apăsare pe contact se face folosind un dinamometru gradat (v. fig. 7-45).

În cazul în care forţa măsurată este mai mică decît cea necesară, resortul trebuie înlocuit. Noul resort se va executa din sîrmă trasă pentru resoarte, cu diametrul egal cu al sîrmei resortului pe care îl înlocuieşte şi cu acelaşi număr de spire. Spiralizarea resortului se efectuează pe un ax metalic cu un diametru mai mic decît diametrul interior al resortului aflat pe aparat, deoarece după spiralizare resortul se va destinde.

Datorită manevrelor repetate, resortul se tasează, micşorîndu-se dimensiunile spirei de capăt. La refacerea unui resort este necesar deci să se realizeze o deschidere mai mare între cele două spire extreme şi restul spirelor.

După ce a fost realizat, resortul se supune unui tratament termic de revenire. El se fierbe în ulei, la o temperatură de 250°C, timp de patru ore, după care se lasă să se răcească lent în aer.

În cazul în care reducerea forţei de apăsare pe contact este datorată uzurii puternice a contactelor şi nu resortului, contactele se înlocuiesc.

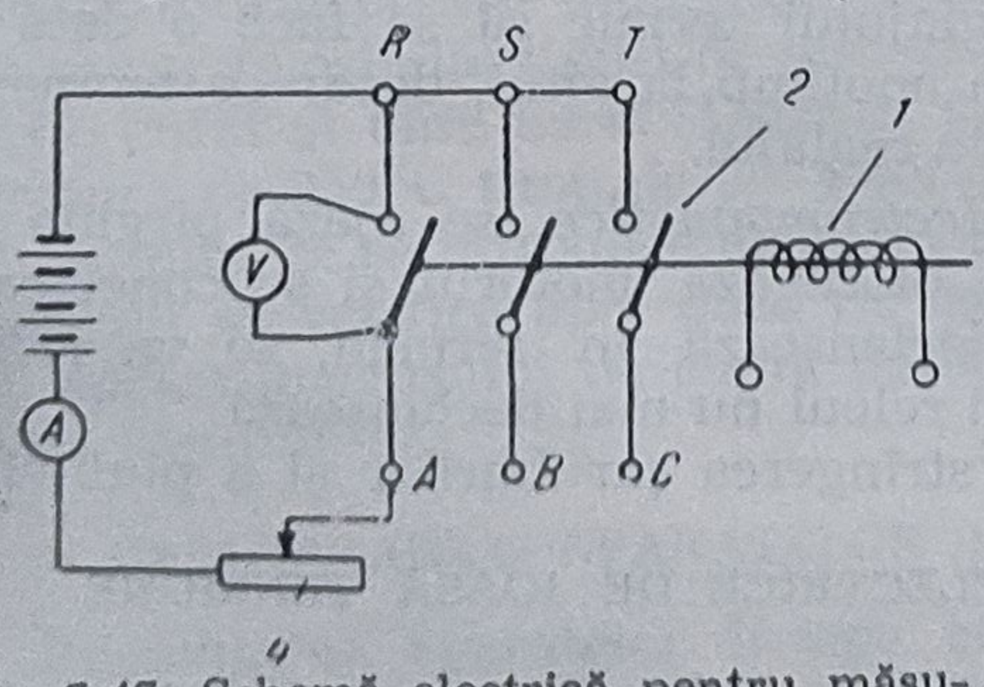


Fig. 7-47. Schemă electrică pentru măsurarea căderii de tensiune în contact la un contactor :
1 — bobina contactorului ; 2 — contactele principale ; 3 — sursă de curent continuu ; 4 — reostat ; A — ampermetru ; V — voltmetru.

Măsurarea rezistenţei de contact se poate face prin măsurarea căderii de tensiune. Se realizează schema din figura 7-47, în care contactele sînt alimentate de la o sursă de curent continuu care furnizează un curent mic (pînă la 10 A) ; căderea de tensiune la borne se măsoară cu un voltmetru. Valorile căderilor de tensiune la punctele de contact nu se standardizează. Această măsurare permite stabilirea uzurii contactelor, dacă se cunoaşte căderea de tensiune pe contactele unui

aparat nou. Uzura contactului este admisibilă dacă valorile căderilor de tensiune, măsurate după ce aparatul a funcţionat o perioadă îndelungată de timp, nu depăşesc cu mai mult de 30% valorile maxime ale căderilor de tensiune măsurate la punerea în exploatare.

Verificarea modului în care contactul mobil se suprapune peste contactul fix se face cu ajutorul unei foi de hîrtie albe şi a unei foi de indigo, introduse între o pereche de contacte. Se închid contactele şi în acest moment contactul mobil îşi imprimă urma pe hîrtie. Urma trebuie să fie reprezentată de o linie dreaptă, neîntreruptă, lungă cît aproape lungimea contactului. Dacă linia este scurtă şi aşezată într-o parte a contactului, apare necesară îndreptarea contactului mobil deoarece calcă strîmb. Îndreptarea contactului se face cu ajutorul unui cleşte sau prin pilire.

Repararea contactelor auxiliare se face în mod asemănător cu a celor principale. Avînd în vedere însă rolul pe care îl îndeplinesc aceste contacte auxiliare în schemele de automatizare, se recomandă ca în caz de defect, să fie înlocuite. După reparare sau înlocuire, este necesară o reglare a contactelor normal închise şi normal deschise.

Deoarece curenţii nominali ai contactelor auxiliare au valori mici (pînă la 10 A), necesitînd o forţă de apăsare pe contact mică, metoda dinamometrului nu este suficient de precisă pentru măsurarea acestei forţe. Metoda indicată de această situaţie se bazează pe măsurarea căderii de tensiune în contact. Montajul este analog celui din figura 7-47, în care se asigură trecerea curentului nominal prin contacte. Forţa de apăsare pe contact se consideră corespunzătoare, dacă la bornele voltmetrului se măsoară o cădere de tensiune sub 50 mV.

● **Defectele şi repararea dispozitivelor de stingere a arcului electric.** Defectele care pot apărea în timpul exploatării la dispozitivele de stingere a arcului electric, duc la îngreuierea stingerii arcului electric.

Unul dintre defecte poate fi *înfundarea camerelor de stingere cu grătar deionic,* datorită depunerii de metal topit din materialul contactelor pe pereţii camerei de stingere sau pe plăcuţele grătarului. Topirea şi pulverizarea materialului contactelor se datoresc temperaturii ridicate care se produce la întreruperea unor curenţi de scurtcircuit foarte mari sau chiar în cazul întreruperii repetate a curenţilor normali. Pentru a înlătura defectul, trebuie să se ia măsuri de curăţare a camerei de stingere şi a plăcuţelor deionice de urmele de metal topit. Funinginea se curăţă prin ştergerea cu bumbac înmuiat în benzină.

Plăcile deionice care lipsesc sau sînt arse se înlocuiesc cu plăci de oţel de aceleaşi dimensiuni, acoperite cu un strat subţire de cupru depus galvanic.

Scurtcircuitarea spirelor bobinei de suflaj magnetic prin depunerea de metal topit între spire, se înlătură prin separarea spirelor cu ajutorul şurubelniţei. După curăţirea de urmele de metal topit, spirele se pot izola una faţă de alta cu fîşii de preşpan sau prin lăcuire.

Camerele de stingere sparte se înlocuiesc cu altele noi. Lipirea crăpăturilor pereţilor nu este eficace, deoarece la ruperea arcului electric, presiunea aerului încălzit din cameră duce la deslipirea bucăţilor lipite.

Înlocuirea camerelor de stingere ceramice se face utilizînd piese originale, obținute de la fabrica producătoare.

În cazul lipsei pieselor originale, camerele se înlocuiesc cu o cameră de stingere din azbociment. Deoarece azbocimentul este mai higroscopic decît materialul ceramic — ceea ce duce la o micșorare a rezistenței la acțiunea arcului electric — el trebuie impregnat. În acest scop, pereții camerei de stingere se înmoaie în lac special de hidrofobizare ; nu se va executa impregnarea în parafină topită, deoarece aceasta se aprinde sub acțiunea arcului electric.

În cazul în care nu se pot înlocui camerele de stingere, sparte, nu va fi permisă funcționarea aparatului fără camere de stingere.

În această situație, pentru a nu împiedica funcționarea schemei, se înlocuiește aparatul cu un altul avînd aceleași performanțe.

Trebuie să se examineze elementele care asigură fixarea camerei, deoarece o cameră de stingere prost strînsă sau care se deplasează ușor se sparge sau cade din cauza șocului puternic care se produce la anclanșare.

Paravanele izolante dintre faze, care sînt distruse, se înlocuiesc cu altele noi, confecționate din pertinax.

● **Defectele și repararea carcaselor și cuvelor.** Deteriorarea carcaselor și cuvelor este mai rar întîlnită în exploatare. Carcasele realizate din material plastic sau din tablă de oțel sudată ori ambutisată se pot fisura sau sparge datorită unor șocuri mecanice care pot apărea din exterior sau prin desfacerea sudurilor. Aceste defecte duc la nerespectarea tipului de protecție pentru care au fost dimensionate sau la scurgerea uleiului în cazul cuvelor umplute cu ulei.

Pentru remedierea acestui defect, cuvele din material plastic se lipesc cu clei epoxi, iar cuvele din tablă se sudează.

● **Repararea mecanismelor de zăvorîre.** În cazul defectelor mecanice mari ale mecanismului, ca spargerea casetei sau ruperea unui clichet, tot subansamblul trebuie schimbat cu un alt mecanism de rezervă procurat ca piesă de schimb. Se pot repara defecte mici, ca de exemplu : *gripparea clicheților pe axe, ruperea arcurilor clicheților, blocarea mecanismului prin frecare sau lovire* de piese învecinate.

Dacă clicheții freacă pe axul de rotație, se va verifica dacă nu cumva gaura în care intră axul nu este deformată. Se va curăța ușor gaura cu o pilă rotundă, iar axul cu hîrtie abrazivă. Se va pune cîte o picătură de ulei la fiecare ax de clichet.

În cazul în care clichetul este mai gros și freacă între plăcile casetei, se ajustează din grosimea clichetului pînă cînd acesta se mișcă ușor.

Dacă arcul care armează clicheții este sărit sau rupt, el se va reface cu același număr de spire și din aceeași sîrmă.

În unele cazuri, arcul care asigură poziția de funcționare freacă pe marginea exterioară a mecanismului de zăvorîre și împiedică mișcarea sa liberă. Pentru a permite funcționarea corectă a mecanismului, se va pili ușor marginea casetei.

● **Repararea releelor și declanșatoarelor.**

La **releele termice** pot apărea o serie de defecte, despre care se va vorbi în ceea ce urmează :

Bimetalele cu încălzire directă se pot distruge din cauza încălzirii lor excesive, situaţie în care ele vor trebui înlocuite.

În cazul oxidării bornele se va scoate bimentalul şi se vor arginta capetele sale. Dacă nu există posibilitatea argintării lor, se vor cositori, însă în anumite cazuri se poate întîmpla ca temperatura bornei să depăşească temperatura de topire a cositorului. În marea majoritate a cazurilor, cositorirea este o măsură suficientă pentru a apăra bornele bimetalului împotriva oxidării.

În cazul bimetalelor cu încălzire indirectă, se pot produce întreruperi ale înfăşurării de cromnichel a releului. Aceasta trebuie refăcută din acelaşi material, cu aceeaşi secţiune şi cu acelaşi număr de spire.

În cazul deteriorării izolaţiei releului, ea trebuie refăcută cu mică sau cu hîrtie de azbest. Nu se vor folosi alte materiale izolante, care se pot carboniza sau aprinde în contact cu înfăşurarea de cromnichel. Lamela bimetalică se va izola în aşa fel, încît muchiile sale să nu taie izolaţia. Banda sau sîrma de cromnichel se bobinează strîns şi cu multă atenţie, pentru a împiedica alunecarea izolaţiei.

În cazul alimentării lamelei bimetalului prin intermediul unui transformator de intensitate, defectele care pot apărea sînt legate de cele două înfăşurări, primară şi secundară ale transformatorului. La aparatele cu intensitate nominală mare, unde înfăşurarea primară este chiar bara de curent a aparatului, defectele înfăşurării primare sînt excluse. În cazul în care în primar sînt mai multe spire, între spire poate apărea un scurtcircuit datorită distrugerii izolaţiei dintre ele. Distrugerea izolaţiei poate avea loc fie din cauza suprasolicitării termice, fie dintr-o cauză mecanică. În acest caz, curentul din secundarul transformatorului de curent nu mai este suficient pentru încălzirea bimetalului la temperatura normală de funcţionare şi acesta nu funcţionează.

Pentru repararea transformatorului de curent, se desfac cele două înfăşurări şi se înlocuieşte izolaţia stricată. Se rebobinează apoi transformatorul. Ca izolaţie pentru primar se va folosi micabandă sau pînză de sticlă impregnată în lac de bachelită. Nu se va folosi preşpan sau foiţă, deoarece acestea se distrug la temperaturi relativ joase, care sînt depăşite în timpul funcţionării normale a releelor. În timpul bobinării se va avea grijă ca spirele să nu facă atingere cu miezul magnetic pe care se bobinează.

Defectările înfăşurării secundare sînt mult mai rare.

Unele *aparate* pentru curenţi mari, sînt executate cu *şunt* confecţionat din mai multe lamele subţiri. La aceste construcţii unele lamele se rup şi atunci valoarea rezistenţei şuntului se schimbă.

La construcţiile cu şunt, este deosebit de periculoasă oxidarea bornelor, care poate duce la schimbarea raportului curenţilor care străbat bimetalul şi şuntul.

Oxidarea şuntului poate fi un alt defect al releului. Şunturile sînt executate din fier, constantan sau, în unele cazuri din cupru. Cel mai des se foloseşte constantanul, deoarece rezistenţa lui nu variază mult cu variaţia temperaturii.

Șunturile cu lamele rupte sau arse se vor înlocui cu altele care trebuie procurate ca piese de rezervă. Se va avea grijă ca ele să aibă capetele cu care se leagă în circuit bine cositorite.

La **releele și declanșatoarele electromagnetice** pot interveni defecte la înfășurarea releului și la releul antagonist.

Înfășurarea releului fiind străbătută de curentul circuitului protejat, curent care în cazul unui scurtcircuit crește foarte mult, poate fi expusă unei supraîncălziri locale care să ducă la distrugerea izolației conductoarelor și la scurtcircuitarea spirelor. Acest defect se poate observa ușor, după urmele de arsură respective.

Este bine ca după refacere, înfășurarea releului electromagnetic să se impregneze cu lac de bachelită sau cu un alt lac de impregnare, pentru ai se îmbunătăți comportarea la umiditate și condițiile de transmitere a căldurii.

La resortul antagonist al paletei (sau miezul mobil) pot apărea defecte de schimbare a caracteristicii sau de rupere a lui. Este necesar să se refacă resortul.

Întrucît marea majoritate a resoartelor antagoniste ale releelor electromagnetice sînt resoarte care funcționează prin întindere, ele se vor reface prin înfășurarea sîrmei pe un dorn cu diametrul convenabil, spiră lîngă spiră.

La **releele de tensiune minimă** pot interveni defecte la bobina de acționare și în funcționarea elementelor mobile.

Scurtcircuitarea spirelor bobinei de acționare și arderea ei este cel mai frecvent defect. Acesta poate apărea fie din cauza creșterii accidentale a tensiunii peste valoarea pentru care a fost construită, fie din cauza deteriorării izolației conductorului. În aceste cazuri este necesară refacerea bobinei.

Un alt defect care poate apărea este *apariția fenomenului de lipire a paletei mobile pe miezul fix,* ca urmare a magnetismului remanent. În acest caz este necesar să se creeze un mic întrefier pe miezul cel mai apropiat de axul mobil, pilindu-se cu grijă miezul fix. Întrefierul nu va depăși 0,15 mm atunci cînd paleta mobilă este atrasă.

Pe ansamblul aparatului, după repararea elementelor funcționale, se execută o serie de operații de reglaj și verificare, operații de o deosebită importanță pentru garantarea reparației efectuate și asigurarea unei funcționări corecte.

6. REGLAREA ȘI VERIFICAREA APARATELOR ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE REPARATE

După demontarea și repararea aparatelor, înainte de darea în exploatare, este necesar ca ele să fie reglate și încercate. Operațiile de reglare și de încercare se vor executa asupra fiecărui aparat în parte. Sînt necesare :

— *reglarea mecanică,* care trebuie să asigure funcționarea aparatului în bune condiții din punct de vedere mecanic, urmărindu-se mișcarea liberă în axe a echipajelor mobile, îndepărtarea frecărilor, îndepărtarea

pieselor strîmbe, reglarea poziției spațiale a pieselor, a distribuției între contacte etc. ;

— *reglarea electrică*, care trebuie să asigure funcționarea releelor termice și electromagnetice, conform normelor și standardelor ;

— *verificarea rigidității dielectrice a izolației* aparatului.

a. Reglarea mecanică

Reglarea mecanică și electrică a aparatelor diferă de la un tip la altul și de aceea se vor examina aparatele sau unele părți ale aparatelor, grupîndu-se pe categorii mai importante.

● **La întreruptoarele neautomate** se execută numai o reglare mecanică cu următorul program :

— strîngerea șuruburilor de fixare a lagărelor, asigurarea coaxialității lagărelor, înlăturarea frecărilor în lagăre ;

— strîngerea șuruburilor care fixează contactele principale pe piesa port-contact, atît pentru contactele mobile, cît și pentru cele fixe ;

— reglarea distanței dintre contacte, a închiderii simultane a contactelor la aparatele multipolare, precum și a închiderii corecte ; reglarea cursei în contact ;

— verificarea forțelor de apăsare pe contact, reglarea lor între limitele indicate în documentație sau schimbarea arcului care asigură această forță;

— verificarea și reglarea mecanismului de sacadare acolo unde este cazul.

Reglarea coaxialității se face slăbind puțin șuruburile de fixare ale lagărelor și deplasînd ușor lagărul pînă se obține o rotire complet liberă și ușoară a axului în lagăre.

Trebuie menționat că deplasarea lagărelor pentru asigurarea coaxialității este în general foarte mică și jocul între diametrul găurii de trecere și diametrul filetului este suficient. După reglarea poziției lagărelor, se vor strînge șuruburile de fixare, fără a se deregla poziția reciprocă a lagărelor.

Distanța între contacte și cursa în contact se reglează la unele aparate prin deplasarea piesei port-contact urmînd ca blocarea în poziția corectă să fie făcută cu ajutorul șuruburilor. La alte aparate, aceleași elemente se reglează prin îndoirea piesei port-contact și, în fine, la unele întreruptoare cu pîrghie sau la inversorul de mers, această distanță este fixată prin construcție ; în acest caz, ca și în celelalte, se vor strînge cu grijă șuruburile de fixare ale pieselor port-contact și ale contactelor. Se va regla poziția contactelor mobil și fix, astfel ca ele să nu fie deplasate axial unul față de celălalt. În cazul aparatelor multipolare, se va asigura simultaneitatea practică a închiderii contactelor. Toleranța nu trebuie să depășească 1 mm la întreruptoarele cu pîrghie și 0,5 mm la celelalte.

Verificarea forței de apăsare pe contact se face cu ajutorul dinamometrului. La aparatele cu contacte mari, deplasarea contactului se face cu ajutorul unui dispozitiv asemănător cu cel reprezentat în figura 7-48.

Așa cum se vede din figură, cu ajutorul celor două șuruburi cu vîrf *1* se fixează dispozitivul de contactul mobil, strîngîndu-l lateral. Se agață dinamometrul de capătul *2* și se trage treptat de el, cît mai perpendicular pe suprafața de contact, citindu-se valoarea indicată de dinamometru în

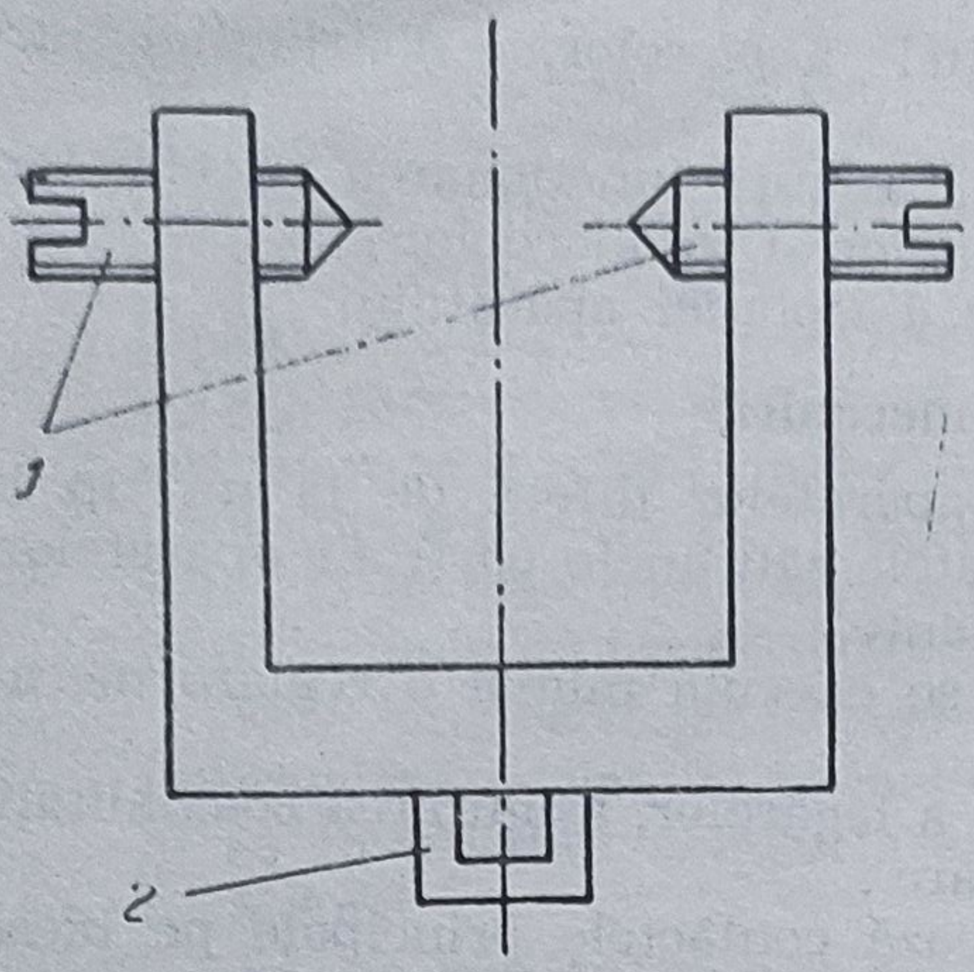


Fig. 7-48. Dispozitiv pentru apucarea contactului în cazul măsurării forței de apăsare cu dinamometrul :

1 — șuruburi de vîrf ; 2 — inel de agățare pentru dinamometru.

momentul desprinderii contactului mobil de pe contactul fix. Această valoare indică forța de apăsare pe contact.

Se vor strînge toate șuruburile și piulițele, verificîndu-se dacă au șaibe elastice.

În cazul în care aparatele sînt prevăzute cu mecanisme de mărire a vitezei contactelor, independent de viteza de manevrare a manetei de acționare (mecanism denumit uneori *mecanism de sacadare*), trebuie reglată și verificată funcționarea lor. Pentru aceasta se va acționa de cîteva ori maneta și se va observa concomitent mișcarea contactelor.

În cazul nefuncționării unui asemenea mecanism, se va examina mai întîi dacă resortul nu este rupt, sau dacă materialul nu și-a pierdut elasticitatea. În cazul în care resortul este în bună stare, se va regla mecanismul, pilind ușor colțurile camei, astfel ca eliberarea piesei mobile a mecanismului să se facă ușor. Se va unge întregul mecanism cu vaselină neutră.

● **Reglarea mecanică a contactoarelor electromagnetice.** La contactoarele electromagnetice, operațiile de reglare mecanică sînt :

— strîngerea șuruburilor de fixare a lagărelor, asigurarea coaxialității lagărelor, înlăturarea frecărilor în lagăre ;

— verificarea și reglarea așezării libere și a suprapunerii complete a armăturii mobile pe miez ;

— reglarea distanței între contacte, a închiderii simultane a contactelor (la aparatele multipolare), reglarea cursei în contact ;

— verificarea forței de apăsare pe contact, reglarea ei între limitele indicate în documentație sau schimbarea resortului care asigură această forță ;

— verificarea strîngerii șuruburilor și a piulițelor contactelor auxiliare, centrarea lor, reglarea distanțelor între contacte și verificarea forței de apăsare pe aceste contacte, eventual înlocuirea resoartelor ;

— reglarea așezării camerei de stingere, astfel ca ea să nu împiedice mișcarea contactelor mobile ;

— verificarea fixării bobinei ;

— strîngerea tuturor piulițelor și șuruburilor.

Operația de reglare a coaxialității este asemănătoare cu cea descrisă în cazul aparatelor neautomate.

De o deosebită importanță este *verificarea autoașezării și reglarea suportului miezului mobil*, astfel ca acesta să se așeze complet peste miezul fix. Dacă există un „joc" în fixare pentru autoașezare, iar miezu-

rile electromagnetului nu se așază complet unul pe celălalt, este necesar ca fețele de așezare să fie rectificate din nou pe o mașină de șlefuit.

În cazurile extreme, pentru a permite așezarea completă a miezurilor electromagnetului, se îndoaie puțin, cu ajutorul unei pîrghii adecvate, suportul miezului mobil.

Verificarea și reglarea distanței între contacte și a cursei în contact se face ca la aparatele neautomate.

b. **Reglarea electrică**

● **Reglarea electrică a electromagneților de acționare a contactoarelor** este operația în cadrul căreia se controlează următoarele mărimi, care trebuie să corespundă normelor sau standardelor :

— tensiunea sau curentul la care electromagnetul atrage miezul mobil în cazul electromagneților cu bobină de tensiune sau de curent ;

— tensiunea sau curentul la care electromagnetul reține ;

— tensiunea sau curentul la care electromagnetul nu mai reține și miezul mobil este eliberat.

Reglarea funcționării electromagnetului la aceste valori se poate face cu ajutorul variației a două elemente :

— întrefierul dintre miezurile fix și mobil, mai ales în ceea ce privește valorile tensiunii sau curentului de atragere ;

— resortul antagonist cu ajutorul căruia se reglează mai ales valorile tensiunii sau curentului de reținere sau de eliberare.

În lipsa unei surse de curent continuu, aparatele de curent continuu pot fi încercate și reglate cu alimentare de la rețeaua de curent alternativ printr-un potențiometru sau transformator, cu redresarea ulterioară a curentului (prin intermediul unei punți de redresare).

La contactoarele de curent alternativ, în cadrul operației de reglaj se urmărește mai întîi ca electromagneții să nu vibreze în poziția închis atunci cînd sînt alimentați la tensiunea sau curentul nominal. Pentru aceasta, se va regla, așa cum s-a descris mai înainte, așezarea celor două miezuri între ele.

Operațiile de *verificare și reglaj electric* al electromagneților *la tensiunea de atragere* trebuie executate repede, pentru a evita supraîncălzirea bobinei în cazul în care miezul nu este atras.

Pentru *reglarea tensiunii de eliberare,* este recomandabil să se folosească un autotransformator sau un potențiometru conectat ca în schema din figura 7-49 care evită supraîncălzirea bobinelor și a instalației de reglare. La această încercare, armătura mobilă se închide cu mîna și este reținută datorită aplicării tensiunii prin intermediul contactului auxiliar *1*. Se recomandă ca tensiunea de eliberare să fie de circa 30% din tensiunea nominală.

● **Reglarea contactelor auxiliare.** La contactele auxiliare reglarea se execută în diferite moduri, după construcția lor. Distanța contactelor auxiliare se reglează prin micșorarea sau mărirea porțiunii din tija filetată care formează contactele auxiliare (de obicei cuprind un contact NI și unul ND).

Reglarea se mai poate face prin deplasarea întregii casete față de piesa de acționare a contactelor auxiliare. După reglarea poziției se vor strînge

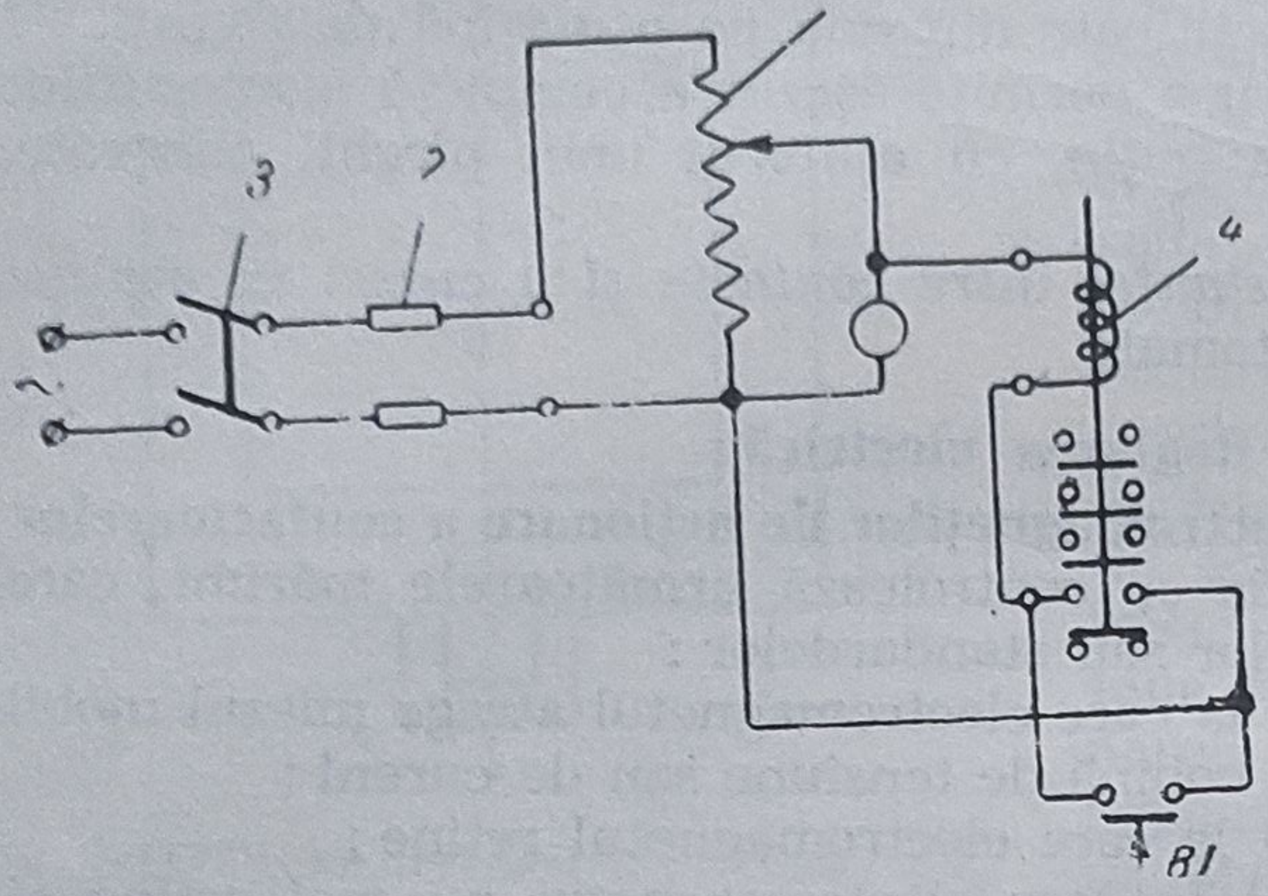


Fig. 7-49. Încercarea funcționării la tensiune redusă cu ajutorul unui autotransformator :
1 — autotransformator ; 2 — siguranțe fuzibile ; 3 — întreruptor cu pîrghie ; 4 — bobina contactorului.

bine șuruburile de fixare a casetei, deoarece funcționarea repetată a contactorului poate duce la deplasarea nedorită a casetei cu contacte auxiliare și deci la deranjarea întregii scheme în care aparatul lucrează. În general, forța de apăsare în contact a resoartelor auxiliare nu se reglează.

● **Reglarea releelor termice.** Există două posibilități de reglare a bimetalelor :

— reglarea fiecărui bimetal în parte, pentru a se asigura funcționarea în condițiile menționate în tabela 7-1 (se execută la fabrica producătoare și în atelierele de reparație) ;

— reglarea ansamblului, în funcție de curentul motorului protejat, care trebuie să fie cuprins între 0,6 și $1 \times 1{,}2\ I_n$ (se face în exploatare).

În continuare se va descrie *reglarea fiecărui releu în parte* după ce a fost reparat. Pentru aceasta se reglează curentul cu ajutorul unui transformator pînă la valoarea nominală și se lasă sub curent timp de 2 pînă la 3 ore. Se pune pîrghia de reglaj în poziția corespunzătoare valorii $0{,}6\ I_n$ și se ridică curentul cu 20% față de $0{,}6\ I_n$, adică la $0{,}6 \times 1{,}2\ I_n = 0{,}72\ I_n$.

Din acest moment trebuie ca releul termic să acționeze în circa 20 minute. În caz contrar, se reglează pîrghia pe care acționează releul, pînă cînd se obține acționarea acestuia. Lamela bimetalică acționează fie asupra unui șurub, fie asupra unei pîrghii.

Se reglează distanța dintre lama bimetalică și vîrful șurubului prin deplasarea acestuia sau, în cazul pîrghiei, prin îndoirea ei pînă cînd releul acționează.

Se ridică valoarea curentului cu 50% față de $0{,}6\ I_n$ și se verifică dacă releul acționează în 2 minute.

Se deplasează pîrghia de reglaj pînă la valoarea corespunzătoare la $1 \times I_n$ și se reglează curentul la $1{,}05 \times I_n$. Se lasă releul sub curent 2 ore, în care timp el nu trebuie să declanșeze. În cazul în care declanșează, se deplasează puțin pîrghia de reglaj și se marchează această poziție. Se verifică apoi dacă releul declanșează la $1{,}2\ I_n$ în circa 20 min și la $1{,}5\ I_n$ în 2 min.

● **Reglarea mecanică și electrică a întrerupătoarelor automate.**

Succesiunea operațiilor este următoarea :

— strîngerea șuruburilor de fixare a lagărelor, asigurarea coaxialității lagărelor, înlăturarea frecărilor în lagăre ;

— reglarea distanței dintre contacte și a închiderii simultane a contactelor (la aparatele multipolare), reglarea cursei în contact ;

— reglarea succesiunii la închidere și deschidere pentru aparatele prevăzute cu mai multe contacte pe aceeași fază (contactele principale, intermediare și de rupere) ;

— verificarea forței de apăsare în contact, reglarea ei între limitele indicate în documentație sau schimbarea resortului care imprimă această forță ;

— verificarea strîngerii șuruburilor și piulițelor contactelor auxiliare, reglarea centrării lor, reglarea distanțelor între contacte și verificarea forței de apăsare pe contacte, eventual înlocuirea arcurilor ;

— reglarea așezării camerei de stingere, astfel, ca ea să nu împiedice mișcarea contactelor mobile ;

— reglarea electrică a releelor și declanșatoarelor ;

— reglarea electrică a sistemului de acționare (electromagnetic, pneumatic etc.).

Reglajele menționate, atît cele mecanice, cît și cele electrice, se fac analog cu cele descrise anterior.

CAPITOLUL VIII

PROTECȚIA LINIILOR AERIENE

A. GENERALITĂȚI

Tensiunile care solicită izolația rețelelor electrice în regimuri normale variază în limite strînse în jurul tensiunilor nominale. Din anumite cauze este posibil ca tensiunile pe unele elemente ale rețelelor să depășească mult valorile nominale. Aceste tensiuni mărite, care pot să pericliteze izolația rețelelor, poartă numele de **supratensiuni.**

După cauzele care le produc, supratensiunile se împart în două categorii : *supratensiuni de comutație sau de origine internă* și *supratensiuni atmosferice sau de origine externă.*

Ambele categorii de supratensiuni pot să pericliteze izolația instalațiilor electrice și de aceea trebuie să se ia toate măsurile pentru evitarea sau limitarea lor.

● **Supratensiunile de origine internă** sau de comutație apar în procesul de exploatare ca rezultat al fenomenelor tranzitorii care însoțesc în mod inevitabil orice comutare a circuitelor, adică orice schimbare în caracteristicile rețelei.

● **Supratensiunile externe,** cele mai periculoase pentru instalațiile electrice, sînt datorite descărcărilor sub formă de trăsnet. Trăsnetul poate să cadă pe conductoarele active sau de protecție a liniei, producînd *supratensiuni datorită loviturii directe,* sau poate să cadă în apropierea liniei, producînd *supratensiuni datorită loviturii indirecte.*

Supratensiunile produse în urma loviturilor de trăsnet se propagă în rețea sub forma unor unde mobile de impuls, care solicită și pot străpunge izolația diferitelor elemente. Aceste unde mobile se reflectă în anumite puncte de discontinuitate ale rețelei (în capetele liniei, la intrarea în transformatoare, la trecerea din cablu în linie aeriană etc.), provocînd o creștere și mai mare a supratensiunilor.

B. METODE DE PROTECȚIE ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR

Pentru a proteja instalațiile electrice împotriva supratensiunilor se folosesc următoarele metode :

— **luarea de măsuri de protecție** care *să evite apariția supratensiunilor sau să reducă durata lor.* Această metodă este aplicabilă numai în ceea ce privește supratensiunile de origine internă și se realizează prin :

— proiectarea corespunzătoare a întreruptoarelor și a siguranțelor, astfel încît prin funcționare să nu producă supratensiuni periculoase;
— punerea la pămînt a neutrului rețelelor;
— folosirea de relee de protecție care să semnalizeze apariția unor puneri la pămînt în instalație;
— evitarea anumitor manevre care provoacă supratensiuni (întreruperea liniilor lungi sau a transformatoarelor mari, funcționînd în gol, și altele);
— **folosirea de aparate de protecție** care *limitează valoarea de vîrf și durata supratensiunilor* prin amorsarea unui arc la pămînt. După principiul de amorsare și stingere a arcului electric astfel format, aceste aparate de protecție se grupează în trei categorii: *eclatoare, descărcătoare tubulare, descărcătoare cu rezistență variabilă.*

În cele ce urmează se vor studia principiile de funcționare, soluțiile constructive și domeniile de utilizare ale fiecărei categorii din aceste aparate.

C. ECLATOARE

Cele mai simple aparate de protecție împotriva supratensiunilor de origine atmosferică sînt eclatoarele. Acestea sînt formate din doi electrozi metalici, izolați între ei și amplasați în aer, la o anumită distanță unul de altul. Îndată ce tensiunea aplicată între electrozi depășește o anumită valoare, care depinde de forma electrozilor și de distanța dintre aceștia, spațiul de aer este străpuns, amorsîndu-se astfel un arc electric. Dacă unul dintre electrozi este legat la linia aflată sub tensiune și celălalt la pămînt, se obține o limitare a valorii supratensiunilor care pot să apară pe linie.

Se deosebesc trei tipuri constructive de eclatoare, folosite ca aparate de protecție împotriva supratensiunilor:
— eclatoare cu coarne;
— eclatoare cu tijă;
— inele sau coarne de protecție.

● **Eclatoarele cu coarne** (fig. 8-1) sînt cele mai vechi aparate de protecție împotriva supratensiunilor, fiind folosite în trecut în locul descărcătoarelor. Se numesc astfel deoarece electrozii au formă de coarne, pentru a se mări posibilitatea de întrerupere prin suflaj magnetic a arcului electric amorsat între ei.

În rețelele de curent alternativ sînt din ce în ce mai puțin folosite, deoarece:
— tensiunea de amorsare a arcului electric la aceste eclatoare variază între limite foarte mari;

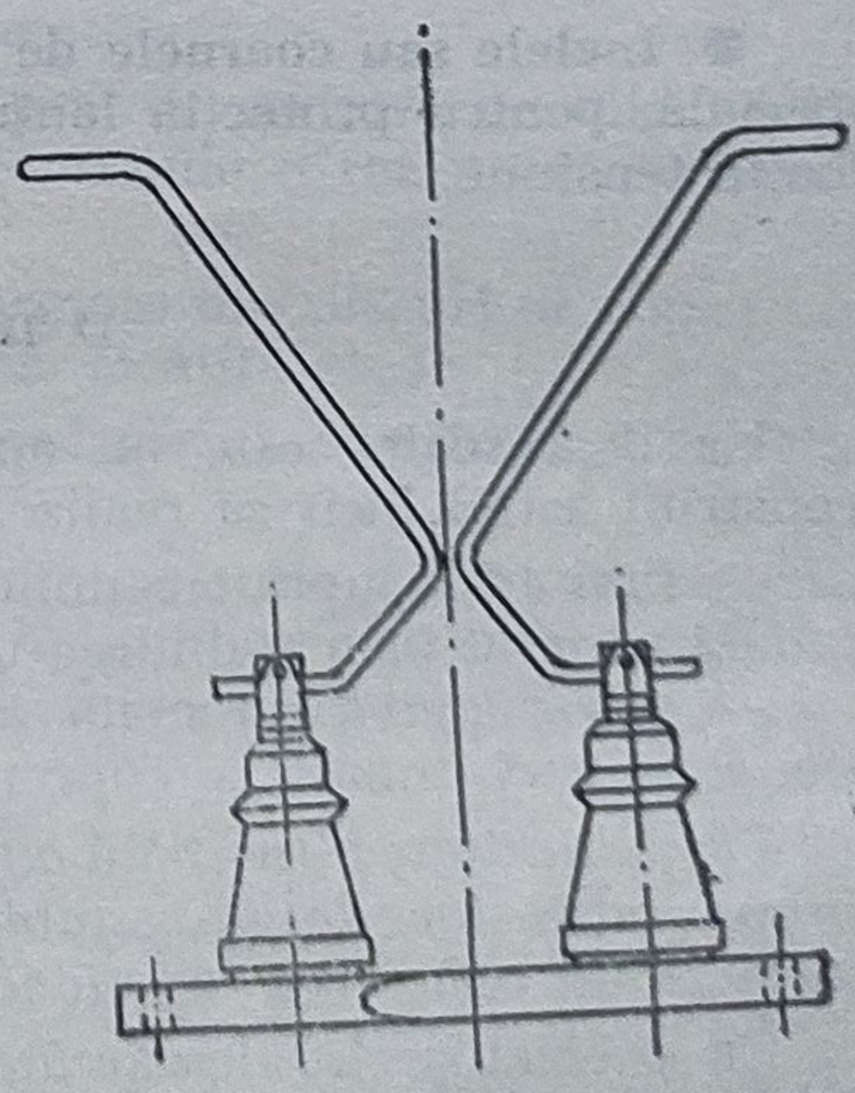


Fig. 8-1. Eclator cu coarne.

— puterea de stingere a arcului electric este redusă ;

— pot apare scurtcircuite între faze ;

— necesită mult spațiu, în raport cu eclatoarele cu tijă.

Ele sînt încă relativ frecvent folosite în rețelele de tracțiune electrică în curent continuu, deoarece descărcătoarele de curent continuu sînt mult mai scumpe și mai puțin perfecționate decît cele de curent alternativ.

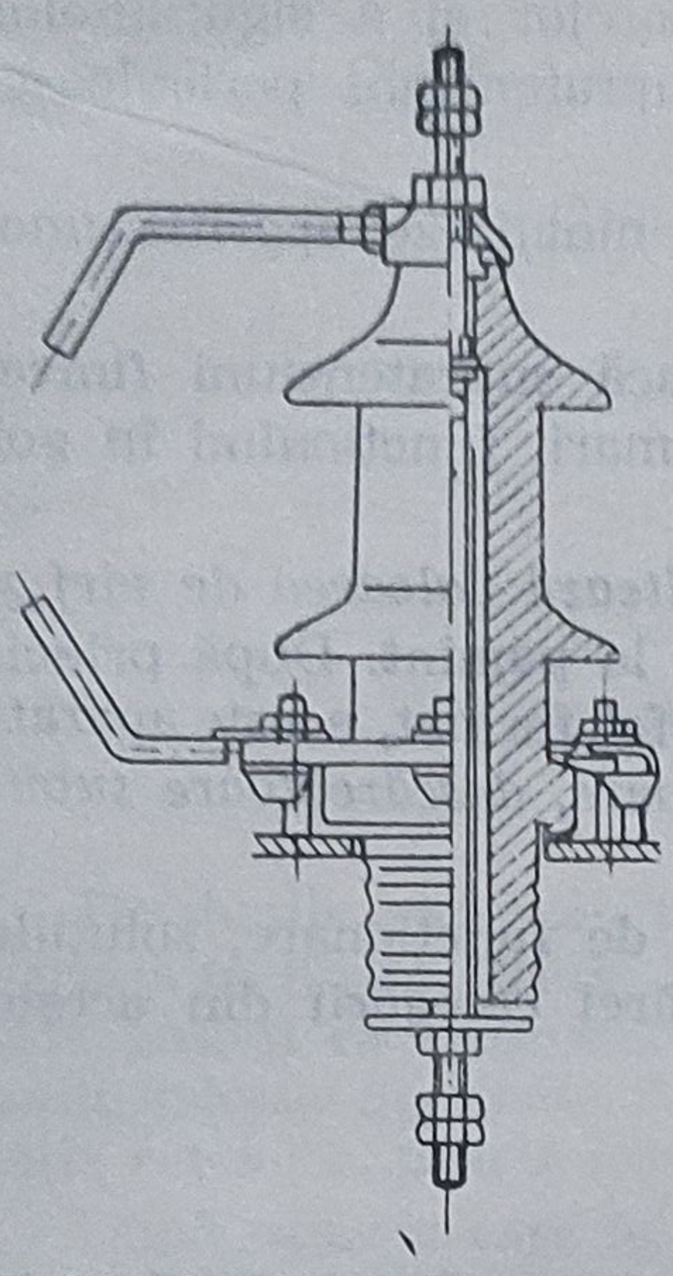


Fig. 8-2. Eclator cu tijă.

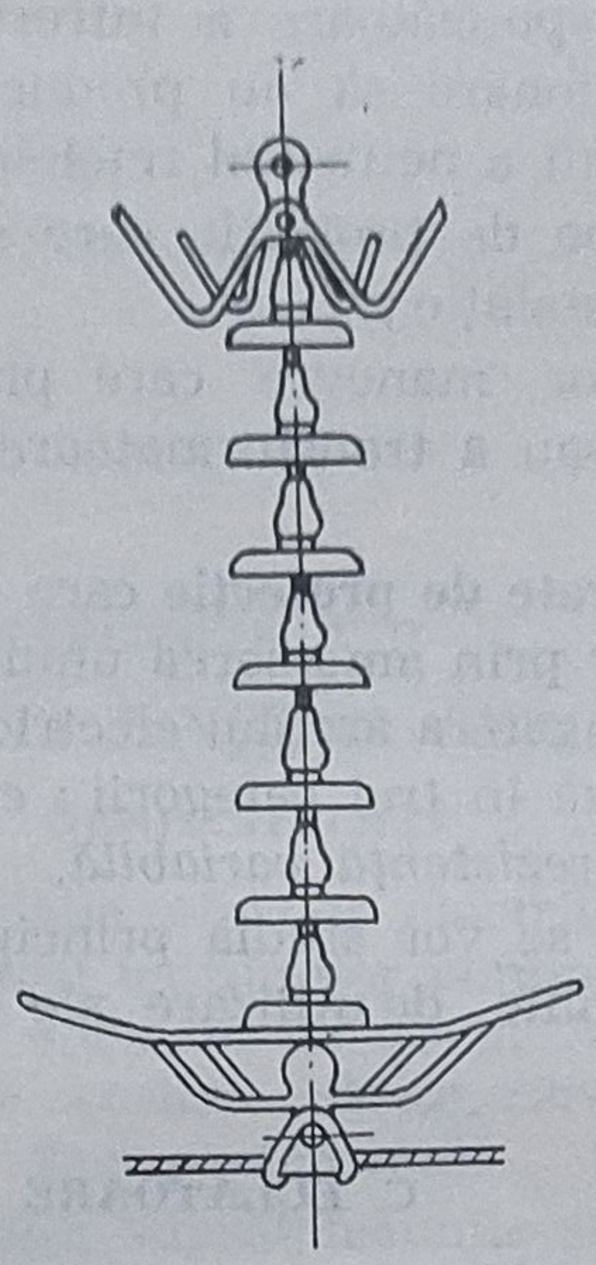


Fig. 8-3. Inel și coarne de protecție.

● **Eclatoarele cu tijă** (fig. 8-2) sînt cele mai folosite în prezent, deoarece sînt de construcție simplă, necesită un spațiu redus și nu prezintă o variație prea mare a valorii tensiunii de amorsare.

Se montează îndeosebi pe izolatoarele de trecere ale transformatoarelor, avînd rolul de a limita valoarea tensiunii care poate să apară la bornele acestora. De obicei, arcul amorsat nu se stinge de la sine, fiind de aceea necesară scoaterea de sub tensiune a instalației pentru foarte scurt timp.

● **Inelele sau coarnele de protecție** (fig. 8-3) sînt eclatoare cu formă specială, pentru protecția lanțurilor de izolatoare ale liniilor aeriene de înaltă tensiune.

D. DESCĂRCĂTOARE

Un descărcător este un aparat de protecție contra supratensiunilor, construit astfel încît să realizeze două funcțiuni :

— limitarea supratensiunilor care pot să apară între conducta protejată și pămînt, prin stabilirea unei legături de mică impedanță, la pămînt;

— întreruperea automată a legăturii cu pămîntul și restabilirea izolației conductei, îndată ce supratensiunea a fost anulată.

Particularitatea esențială a descărcătoarelor față de eclatoare este, deci, *proprietatea lor de a restabili izolația conductei protejate, fără a fi necesară întreruperea funcționării instalației.*

Ca și eclatoarele, descărcătoarele se montează îndeosebi între conductele de fază și pămînt.

● **Descărcătoare tubulare.** În principiu, descărcătorul tubular (fig. 8-4) este un eclator care realizează (după modul de funcţionare al întreruptoarelor cu autoformare de gaze) şi stingerea arcului electric amorsat între electrozi. Pentru aceasta, eclatorul cu rol de limitare a valorii supratensiunilor este introdus într-un tub de material izolant *1*, care sub acţiunea temperaturii înalte a arcului electric poate degaja o mare cantitate de gaze.

Pentru a se evita solicitarea continuă a dielectricului tubului, se intercalează de obicei un al doilea eclator între descărcător şi conductorul protejat *6*.

La apariţia unei unde de tensiune care depăşeşte tensiunea de amorsare a descărcătorului, spaţiul de amorsare *4* din interiorul tubului şi cel exterior (5) sînt străpunse, amorsîndu-se un arc electric prin intermediul căruia unda este canalizată la pămînt. După anihilarea în acest mod a supratensiunii, distanţele de amorsare rămîn puternic ionizate, ceea ce face ca prin descărcător, între electrodul superior *2* şi electrodul inferior *3*, să continue să treacă, sub formă de arc electric, un curent alimentat de tensiunea de serviciu a reţelei.

Temperatura înaltă a arcului electric descompune materialul peretelui tubului, degajînd o mare cantitate de gaze, care creează în interiorul tubului o presiune foarte mare ; datorită acestei presiuni mari, gazele părăsesc exploziv tubul, dezionizînd spaţiul interior de amorsare ; se obţine astfel stingerea arcului electric şi restabilirea izolaţiei.

● **Descărcătoare cu rezistenţă variabilă.** Descărcătoarele cu rezistenţă variabilă (fig. 8-5) sînt cele mai perfecţionate aparate de protecţie împotriva supratensiunilor, folosite în prezent. Un descărcător cu rezistenţă variabilă este format din următoarele elemente :

— o coloană cu discuri *1*, obţinute din praf de carbură de siliciu (carborund) aglomerat cu anumiţi lianţi ; ea constituie o rezistenţă variabilă în funcţie de tensiune ;

— o coloană de eclatoare identice *2*, formate din discuri de cupru sau de alamă separate prin distanţiere (din mică, steatită etc.) ;

— un izolator de porţelan *3*, în interiorul căruia sînt închise ermetic eclatoarele şi rezistenţele ;

— bornele de legătură electrică şi elementele de fixare mecanică.

Eclatorul este astfel dimensionat, încît asigură izolaţia faţă de pămînt a conductorului protejat, la tensiunea de serviciu şi supratensiunii interne de valoare normală. La apariţia unei supratensiuni care depăşeşte aceste valori, eclatorul amorsează, practic fără întîrziere, un arc electric. Se stabileşte astfel prin intermediul rezistenţelor, un curent la pămînt. În felul acesta energia undei de supratensiune se scurge spre pămînt, discurile de rezistenţă variabilă fiind străbătute, timp de cîteva zeci de microsecunde de un impuls de curent de cîteva sute pînă la cîteva mii de amperi.

Deoarece discurile de rezistenţă variabilă au proprietatea de a-şi reduce cu atît mai mult rezistenţa, cu cît tensiunea aplicată este mai mare,

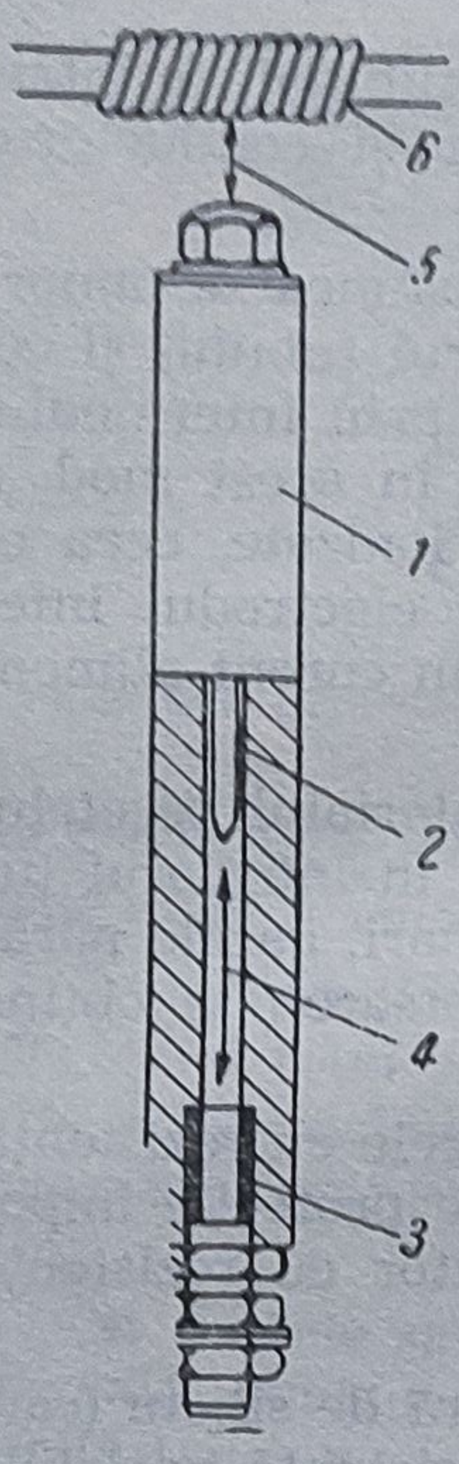


Fig. 8-4. Descărcător tubular.

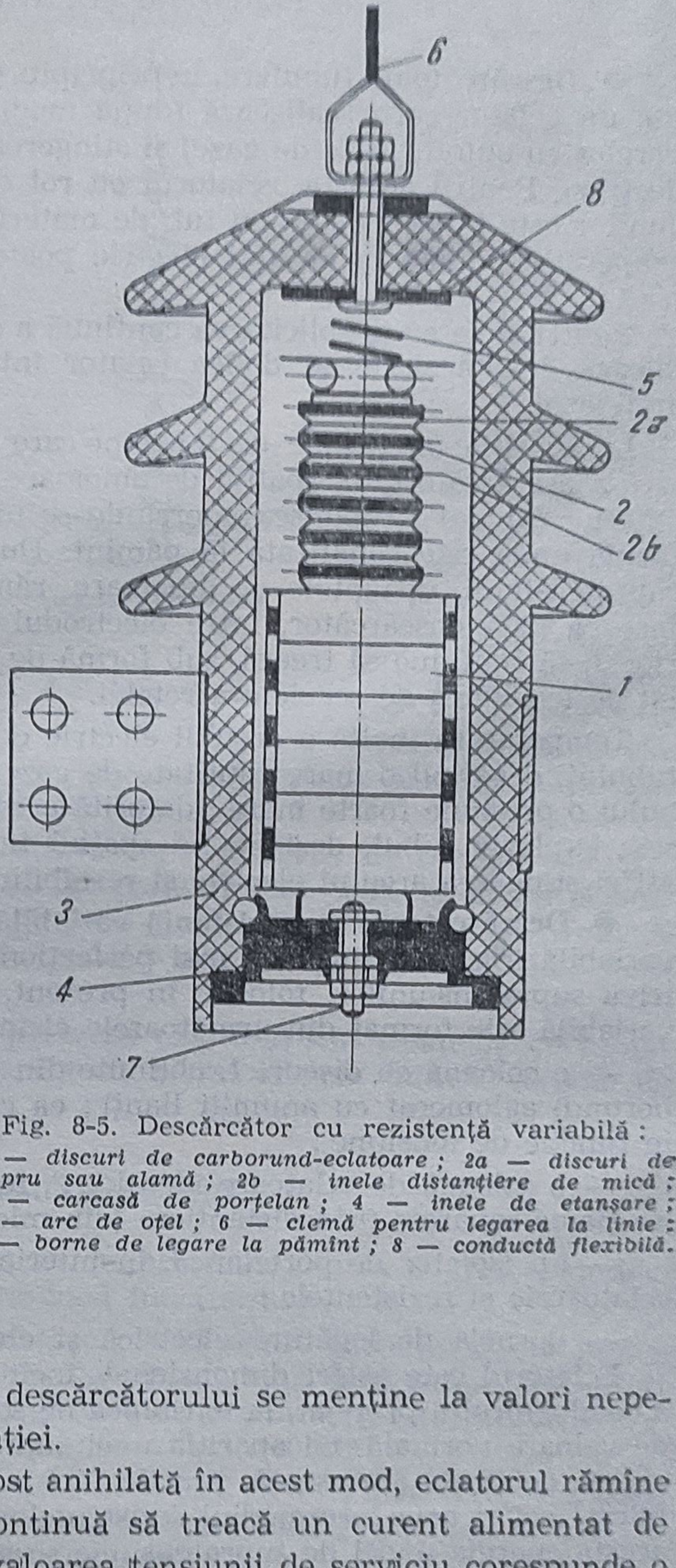


Fig. 8-5. Descărcător cu rezistenţă variabilă :
1 — discuri de carborund-eclatoare ; 2a — discuri de cupru sau alamă ; 2b — inele distanţiere de mică ; 3 — carcasă de porţelan ; 4 — inele de etanşare ; 5 — arc de oţel ; 6 — clemă pentru legarea la linie ; 7 — borne de legare la pămînt ; 8 — conductă flexibilă.

căderea de tensiune la bornele descărcătorului se menţine la valori nepericuloase pentru izolaţia instalaţiei.

După ce supratensiunea a fost anihilată în acest mod, eclatorul rămîne ionizat, iar prin descărcător continuă să treacă un curent alimentat de tensiunea de serviciu. Dar, la valoarea tensiunii de serviciu corespunde o valoare mult mai mare a rezistenţei variabile, care limitează curentul prin descărcător la valori suficient de mici pentru a putea fi stins de eclator la prima trecere naturală prin zero.

2. EXPLOATAREA DESCĂRCĂTOARELOR

Exploatarea dispozitivelor de protecţie împotriva supratensiunilor necesită o supraveghere atentă şi revizii periodice.

Pentru *controlul funcţionării descărcătoarelor* se prevăd *contoare de descărcări*, montate pe legătura de punere la pămînt. Aceste contoare posedă de obicei cinci siguranţe fuzibile, a căror topire succesivă este indicată prin rotirea unui disc cu cinci repere. La funcţionarea descărcătorului, siguranţa aflată în serie cu legătura la pămînt se topeşte şi discul se roteşte pînă în dreptul reperului următor.

O problemă principală a exploatării instalaţiilor de protecţie constă în *analiza avariilor cauzate de loviturile de trăsnet* în instalaţiile electrice. Prin această analiză se scot în evidenţă părţile slabe ale protecţiei şi se stabilesc măsurile necesare pentru întărirea ei.

● **Exploatarea descărcătoarelor tubulare.** Toate descărcătoarele tubulare instalate pe linii trebuie examinate o dată cu revizia liniei. Cu deosebită atenţie trebuie examinate descărcătoarele de pe stîlpii mai apropiaţi de locul loviturii de trăsnet.

Se stabileşte mai întîi poziţia indicatoarelor contoarelor de descărcări. Dacă descărcătorul a funcţionat, el trebuie examinat atent printr-un binoclu. Trebuie să se observe dacă tubul nu prezintă urme de defectare, dacă intervalul disruptiv nu s-a dereglat, dacă nu se observă urme de arc electric pe conductor, pe armături, pe izolator sau pe traversa stîlpului.

Dacă se constată defecte pe descărcător sau urme ale arcului electric care a provocat decontarea liniei, descărcătorul se demontează şi se înlocuieşte cu unul de rezervă.

Revizia principală a descărcătoarelor se efectuează înaintea perioadei de furtuni. Se verifică cu această ocazie diametrul interior al tubului, starea peliculei de lac de pe suprafaţă, starea sistemului de fixare a descărcătoarelor etc.

O dată la cinci ani se măsoară, în cursul perioadei lipsite de furtuni, rezistenţa de legare la pămînt a descărcătoarelor.

● **Exploatarea descărcătoarelor cu rezistenţă variabilă.** Descărcătoarele cu rezistenţă variabilă se examinează în exterior în mod periodic, de obicei o dată pe lună. Examinarea exterioară constă în verificarea integrităţii cilindrilor de porţelan, a etanşeităţii, a stării de murdărire a suprafeţelor etc. Curăţirea suprafeţelor se execută o dată cu curăţirea izolatoarelor instalaţiei.

Funcţionarea descărcătoarelor în urma trăsnetelor trebuie observată în permanenţă. Indicaţiile contoarelor de descărcări trebuie consemnate într-un registru după fiecare furtună. După cinci funcţionări, contorul trebuie să fie armat din nou, adică trebuie înlocuite siguranţele fuzibile şi rotit discul în poziţia iniţială. Armarea se face în laborator.

La sfîrşitul perioadei de furtuni, descărcătoarele se decontează de la tensiunea de serviciu, prin deschiderea separatoarelor prevăzute în acest scop. Înainte de conectarea descărcătoarelor la începutul perioadei de furtună, se efectuează revizia principală, care constă în examinarea exterioară şi încercarea preventivă.

MANOLACHE VASILE

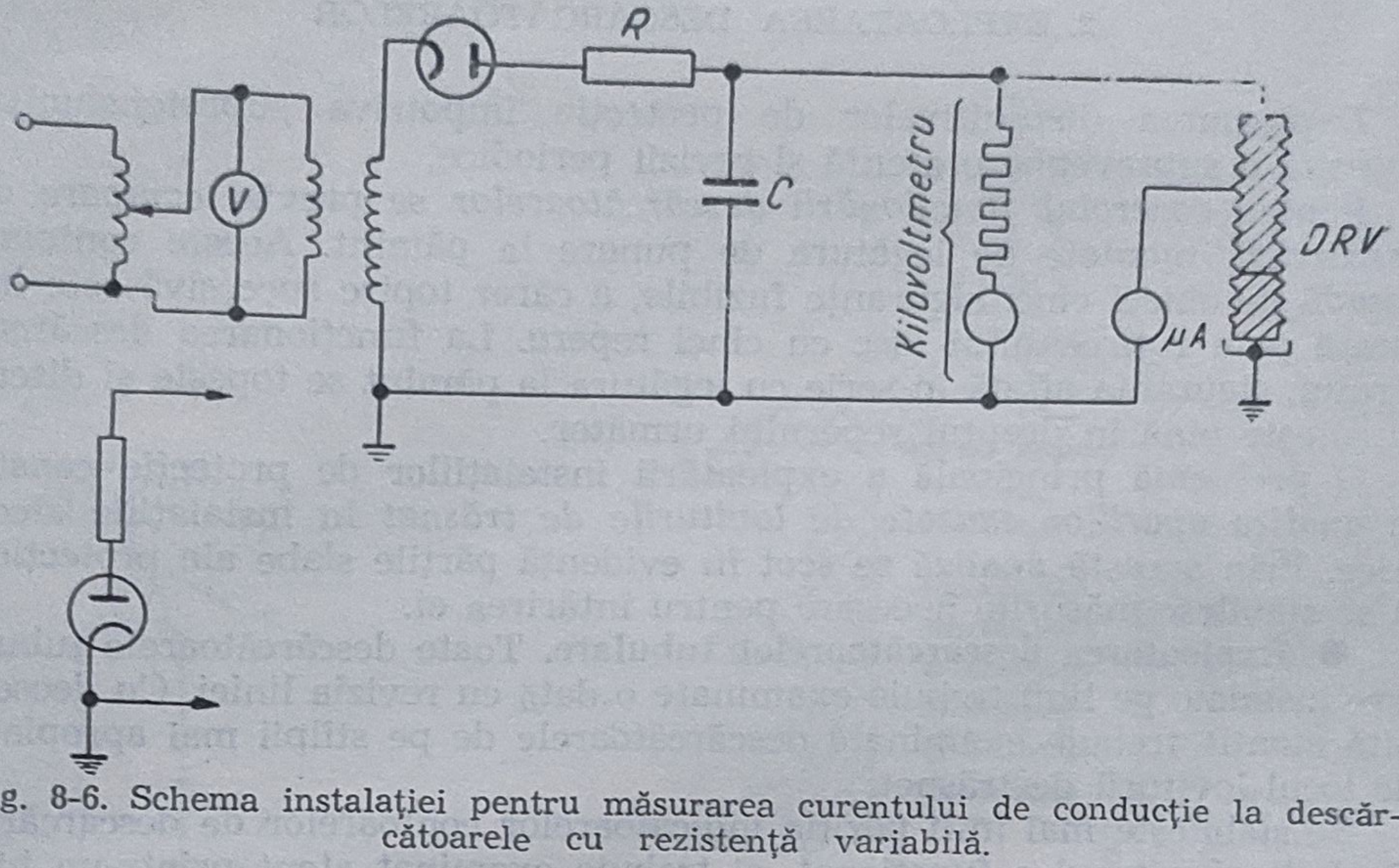


Fig. 8-6. Schema instalației pentru măsurarea curentului de conducție la descărcătoarele cu rezistență variabilă.

Încercarea preventivă constă în măsurarea curentului de conducție la tensiunea continuă. Prin aceasta se stabilește starea rezistențelor de șuntare ale eclatoarelor. O valoare scăzută a curentului indică o întrerupere în circuitul rezistențelor de șuntare, iar o valoare crescută a curentului indică de cele mai multe ori o umezire a rezistențelor de șuntare.

Schema instalației de încercare este prezentată în figura 8-6. Măsurarea curentului se efectuează pentru fiecare element al descărcătorului. În acest scop, legătura la pământ a descărcătorului se desface, iar microampermetrul μA se conectează la flanșa elementului respectiv și pământ. Măsurarea se efectuează prin citirea indicațiilor date fie de un microampermetru, fie de un kilovoltmetru (sau de un voltmetru V, montat pe circuitul primar al transformatorului de alimentare). Instalația de alimentare cuprinde un transformator și un kenotron pentru redresarea curentului alternativ. Pentru aplatizarea pulsațiilor se introduce condensatorul C, iar pentru protecția instalației împotriva supracurenților se introduce în circuit o rezistență mare R.

E. BOBINE DE REACTANȚĂ (REACTOARE)

În compunerea instalațiilor pentru curenți mari se folosesc uneori, pentru limitarea curenților de scurtcircuit, bobine de reactanță, în general fără miez. De asemenea, reactoarele reduc efectele căderii de tensiune care are loc la scurtcircuite. Valoarea curentului permanent de scurtcircuit este puțin influențată de reactoare, acestea influențînd în special valoarea curentului de șoc.

● **Reactorul este caracterizat de următoarele mărimi:** tensiune nominală, curent nominal, reactanța inductivă procentuală. Evident că, cu cît este mai mare reactanța inductivă a reactorului, cu atît mai mult va limita acesta curentul de scurtcircuit.

Reactanța inductivă procentuală a reactorului indică ce parte din tensiunea nominală pe fază a reactorului reprezintă căderea de tensiune în reactanța inductivă a înfășurării lui, cînd prin această înfășurare trece curentul nominal.

● **Instalarea reactorilor.** Reactorii se instalează la liniile de plecare ale centralelor și stațiilor, la bare și în alte locuri, unde este necesar să fie micșorat curentul de scurtcircuit.

Datorită micșorării valorilor curenților de scurtcircuit cu ajutorul reactorilor, devine posibilă instalarea în centrale și stații a unui aparataj mai ieftin și mai simplu, calculat pentru curenți de scurtcircuit mai mici; devine posibilă folosirea unor cabluri și a unor bare de secțiuni mai mici. Acest lucru aduce economii mari în costul instalațiilor de distribuție și mărește siguranța de funcționare a acestora.

Bobinele de reactanță pot fi monofazate sau trifazate. Pentru tensiuni nominale pînă la 35 kW, se pot executa în aer, iar pentru tensiuni mai mari, în ulei. Înfășurarea se face de obicei cu mai multe conductoare în paralel. De cele mai multe ori, înfășurarea este compusă din discuri, montate pe inele de beton, susținute de izolatoare suport. Legăturile exterioare trebuie aduse pe cît posibil radial.

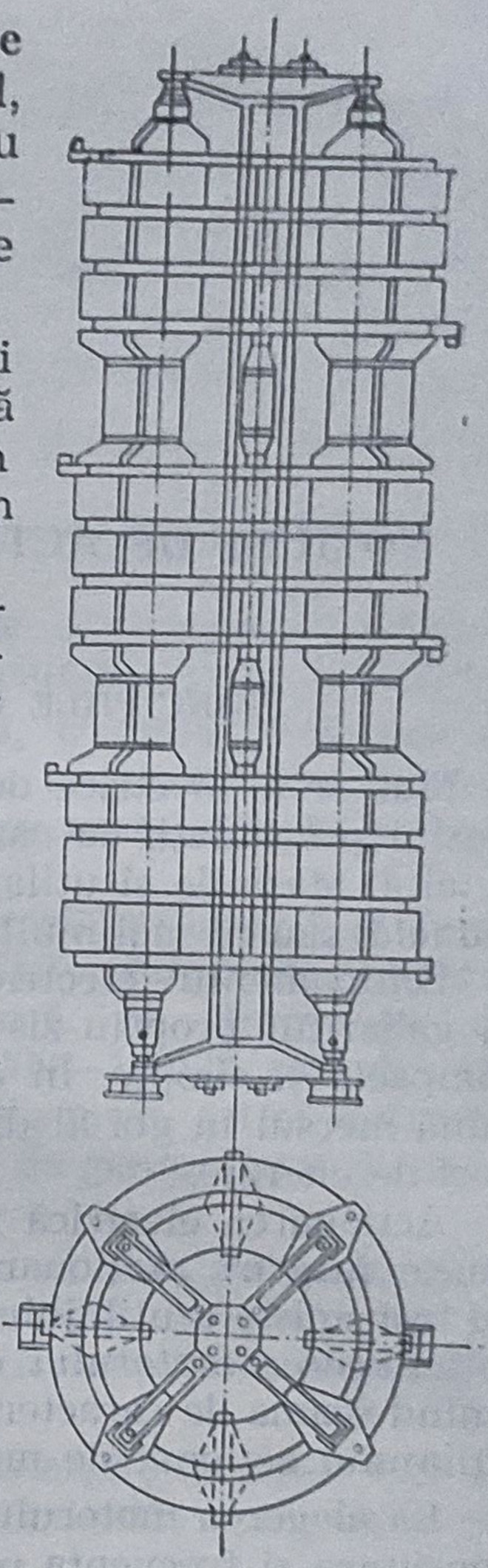


Fig. 8-7. Bobină de reactanță trifazată.

Bobinele de reactanță trifazate se execută de cele mai multe ori din trei bobine dispuse coaxial, bobina din mijloc avînd conexiunile inversate, pentru ca rezultanta forțelor care acționează între bobine să fie de atracție (fig. 8-7).

CAPITOLUL IX

NOȚIUNI DE ACȚIONĂRI ELECTRICE ȘI AUTOMATIZĂRI

A. ACȚIONĂRI ELECTRICE

1. PRINCIPIILE GENERALE ALE ACȚIONĂRII ELECTRICE

Motoarele electrice deservesc tot felul de industrii, punînd în mișcare mașini și instalații cu caracteristici și condiții de lucru foarte diferite una de alta. Mașinile și utilajele pot fi acționate cu un motor *(acționare individuală)* sau cu mai multe motoare *(acționare multiplă)*.

Echipamentul electric pentru acționarea individuală se poate monta în gabaritul propriu-zis al utilajului, conducînd în acest fel la forme compacte și simple. În același timp, acționarea electrică individuală elimină mersul în gol al diferitelor transmisii mecanice, evitînd astfel pierderi de energie.

Acționarea electrică multiplă se folosește la utilaje complexe, cu mai multe mișcări. Acționarea multiplă duce la simplificarea mecanismelor de transmisie a utilajului și la mărirea productivității acestuia.

Alegerea motorului celui mai potrivit pentru o utilizare dată se face ținînd seama de caracteristicile rețelei de alimentare, ale motoarelor și ale utilajului acționat de motor.

La alegerea motorului electric trebuie să se precizeze felul curentului, tensiunea și frecvența rețelei de alimentare, turația și puterea motorului.

● Se pot utiliza **motoare de curent alternativ** sau **motoare de curent continuu.**

● **Tensiunea de alimentare** este indicată pe plăcuța motorului (motorul trebuie să fie construit pentru o tensiune — indicată pe plăcuța motorului — corespunzătoare rețelei de care se dispune).

Motoarele de curent continuu și cele de curent alternativ monofazat se construiesc pentru o singură tensiune. Tensiunea acestor motoare trebuie să fie egală cu tensiunea rețelei de alimentare. Numai unele motoare mici pot fi folosite la două tensiuni, în raportul 1/2, prin legarea bobinajelor în serie sau în paralel. Dacă, de exemplu, tensiunea rețelei de alimentare este 220 V, pe motorul ales trebuie să fie indicate tensiunile 110/220 V sau 220/440 V; pentru efectuarea conexiunilor între bobinaje (în serie sau paralel) se ține seama de indicațiile de pe plăcuța motorului.

Motoarele asincrone și sincrone de curent alternativ trifazat se construiesc cu fazele bobinajului statoric pentru o tensiune U. Un asemenea motor se poate folosi la o rețea cu tensiunea de linie U dacă se leagă bobinajele

în triunghi, sau la o rețea cu tensiune de linie $U\sqrt{3}$ dacă se leagă bobinajele în stea. Astfel, un motor pe a cărui plăcuță se găsește indicația Δ/Y — 220/380 V, poate fi folosit la o rețea cu tensiunea de linie 220 V, cînd conexiunea bobinajului este în triunghi, sau la o rețea cu tensiunea de linie 380 V, cînd conexiunea bobinajului este în stea. Invers, dacă rețeaua are tensiunea de linie U, pe plăcuța motorului trebuie să se găsească indicația $\Delta/Y - \frac{U}{\sqrt{3}}/U$ sau indicația $\Delta/Y - U/U\sqrt{3}$; în primul caz, motorul care se leagă la rețea va avea bobinajul legat în stea, iar în al doilea caz, va avea bobinajul legat în triunghi.

Dacă pornirea motorului se face cu comutator stea-triunghi, motorul funcționează obligatoriu cu bobinajul legat în triunghi, deci pe plăcuța sa trebuie să se găsească indicația $\Delta/Y - U/U\sqrt{3}$, U fiind tensiunea de linie a rețelei de alimentare. Astfel, dacă rețeaua are tensiunea de linie 220 V, pe plăcuța motorului pornit cu comutator stea-triunghi trebuie să se găsească indicația : Δ/Y—220/380 V.

● **Frecvența rețelei de alimentare.** Pentru rețelele industriale, frecvența este în general de 50 Hz. Pentru utilajul portativ (ferăstraie, perforatoare) s-au construit și motoare care funcționează cu frecvența de 150—200 Hz ; turația acestor motoare atinge 9 000—12 000 rot/min, iar greutatea motorului electric pe kilowat scade foarte mult, astfel încît utilajul este mai ușor. Aceste motoare sînt alimentate de generatoare speciale, cu frecvență ridicată.

● **Turația motorului.** Din punctul de vedere al turației motorului, trebuie pe de o parte să se precizeze *turația nominală* a motorului, iar pe de altă parte trebuie să se țină seama de eventuala *necesitate de variație a turației.*

Cele mai multe utilaje necesită o turație constantă ; în acest caz se poate alege orice tip de motor a cărui turație nominală corespunde cu turația utilajului acționat.

În alte cazuri, turația trebuie să fie variabilă, pentru a satisface buna desfășurare a procesului tehnologic. În această ipoteză trebuie să se aleagă un motor de curent continuu sau unul asincron cu inele, fiind exclusă utilizarea motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit sau a celor sincrone.

La motoarele de curent continuu, variația turației se realizează prin variația curentului de excitație sau prin introducerea unui reostat în circuitul principal al motorului. *La motoarele de curent alternativ asincrone cu inele,* variația turației se realizează prin reostat în circuitul rotoric.

Turații riguros constante se asigură în curent continuu cu ajutorul motoarelor compound sau cu acționări automatizate, iar în curent alternativ — cu motoare sincrone.

● **Puterea motorului.** Aceasta este una din caracteristicile cele mai importante în alegerea motoarelor electrice. Dacă se alege un motor cu putere mai mare decît puterea necesară acționării, motorul este scump și va funcționa slab încărcat, ceea ce produce scăderea randamentului și a factorului de putere (la motoarele de curent alternativ). Dacă puterea

aleasă este mai mică decît puterea necesară, motorul funcţionează supraîncărcat, se încălzeşte şi se arde.

La alegerea puterii motoarelor electrice pentru o acţionare dată trebuie să se ţină seama de regimul nominal de lucru pentru care sînt construite maşinile electrice. Pentru maşinile electrice sînt stabilite trei regimuri nominale de lucru : regim de durată, de scurtă durată şi intermitent.

2. PRINCIPIILE DE ALCĂTUIRE A SCHEMELOR PENTRU ACŢIONARE ELECTRICĂ

Prin *schemă electrică* se înţelege, în general, reprezentarea convenţională a maşinilor, aparatelor, instrumentelor de măsură şi a conductoarelor de legătură care alcătuiesc împreună o instalaţie electrică. În schemele electrice, diferitele elemente care intră în instalaţia electrică sînt reprezentate prin semne convenţionale.

În ultimul timp, o răspîndire din ce în ce mai largă au început să aibă schemele de acţionare electrică.

Reprezentarea convenţională a instalaţiei electrice de acţionare este tocmai ceea ce se numeşte *schemă de acţionare electrică.*

Cunoaşterea modului de întocmire a unei scheme de acţionare electrică şi posibilitatea de a citi corect o schemă sînt condiţii de bază pentru electricianul care trebuie să execute o instalaţie electrică de acţionare după o schemă dată sau trebuie să intervină pentru a înlătura un defect în instalaţia respectivă.

Schema unei instalaţii electrice de acţionare permite urmărirea uşoară a funcţionării instalaţiei, chiar atunci cînd aceasta este destul de complexă. De asemenea, în caz de avarii, avînd la îndemînă schema instalaţiei, ea se poate separa şi urmări pe diferite circuite care o alcătuiesc şi în felul acesta separarea şi localizarea defectului se face mai uşor şi într-un timp mai scurt.

Pentru realizarea condiţiilor de lucru impuse de cerinţele procesului de producţie, motoarele electrice de acţionare sînt supuse unor comenzi diferite, ca : pornirea, oprirea, inversarea sensului de rotaţie, reglarea turaţiei etc.

Schemele de comandă a motoarelor electrice trebuie să fie astfel alcătuite, încît să permită realizarea unor comenzi cît mai simple, să fie sigure în funcţionare şi să poată fi realizate cu un număr de aparate cît mai redus, pentru a nu ridica costul instalaţiei electrice de acţionare.

De asemenea, este necesar ca schemele de comandă să fie astfel realizate încît timpul în care se execută o anumită comandă să fie cît mai redus, pentru a evita timpii neproductivi (se ştie că în timpul pornirii, opririi sau inversării sensului de rotaţie, de cele mai multe ori maşinile de lucru ce sînt acţionate nu produc, aceşti timpi fiind deci neproductivi). Atunci cînd prin cerinţele procesului de producţie numărul de porniri şi opriri pe oră este mare, timpii neproductivi duc la scăderea considerabilă a producţiei maşinii de lucru.

Pe de altă pare însă, reducerea prea mare a timpului de pornire sau de oprire, prin creşterea accelerării motorului electric, duce la şocuri ce pot deteriora instalaţia mecanică.

De aceea este necesar ca cel care alcătuieşte schema unei instalaţii electrice de acţionare să cunoască principiile ce stau la baza funcţionării motoarelor electrice în timpul pornirii, opririi, schimbării sensului de rotaţie etc., iar alcătuirea schemei instalaţiei să se facă pe baza cunoaşterii acestor principii.

În funcţie de destinaţia ce se dă schemelor de acţionare electrică acestea pot fi de două feluri : scheme de principiu şi scheme de montaj.

a. Schemele de principiu

Schemele de principiu sînt acele scheme care indică principiul care a stat la baza întocmirii lor. Ele permit celui care le foloseşte să se poată orienta uşor asupra rolului fiecărui aparat din schemă şi deci uşurează cunoaşterea principiului care a stat la baza proiectării instalaţiei de acţionare. Acest lucru prezintă o importanţă deosebită din punctul de vedere al exploatării instalaţiei, deoarece la apariţia unei avarii în instalaţie, se uşurează depistarea şi înlăturarea defectului într-un timp mai scurt.

Schemele de principiu folosite în practică sînt de două feluri : *scheme de lucru şi scheme desfăşurate.*

● **Schemele de lucru** sînt acele scheme în care toate părţile componente ale unuia din aparatele folosite, sînt grupate împreună. De exemplu un contactor, care după cum se ştie este format dintr-o bobină şi din contactele de închidere sau de deschidere a unui circuit, este reprezentat în schema de lucru astfel încît să se poată urmări modul cum, la trecerea curentului prin bobină, este atrasă armătura cu contactele mobile, care închid sau întrerup circuitele respective.

În figura 9-1 este indicată o asemenea schemă pentru legarea la reţea a statorului unui motor asincron *M* în scurtcircuit. Instalaţia funcţionează în felul următor : la apăsarea pe butonul de pornire *1*, se închide circuitul bobinei *2* între fazele *R* şi *T* ale reţelei de alimentare. Trecînd curent prin bobină, se va magnetiza miezul magnetic *3* al contactorului, care va atrage armătura mobilă *4*. O dată cu armătura mobilă se va roti axul *5* pe care se găsesc montate contactele mobile *6*. Acestea rotindu-se se vor suprapune peste contactele fixe şi statorul motorului *M* se va lega la fazele *R, S, T* ale reţelei de alimentare.

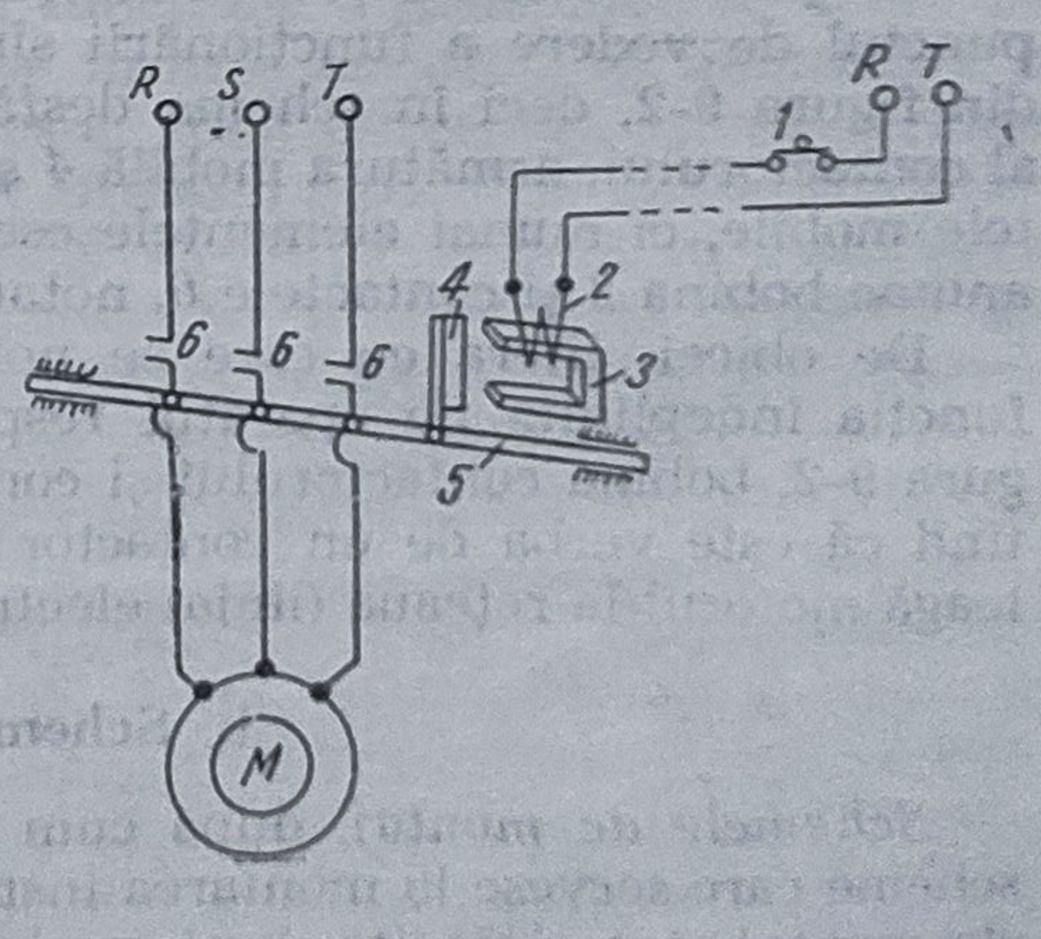


Fig. 9-1. Schemă de lucru.

Rezultă din examinarea acestei scheme că *avantajul* ei principal constă în faptul că dă indicaţii şi asupra modului de lucru al aparatelor din schemă. *Dezavantajul principal* al schemelor de lucru constă în aceea că atunci cînd numărul aparatelor din instalaţie este mare, sche-

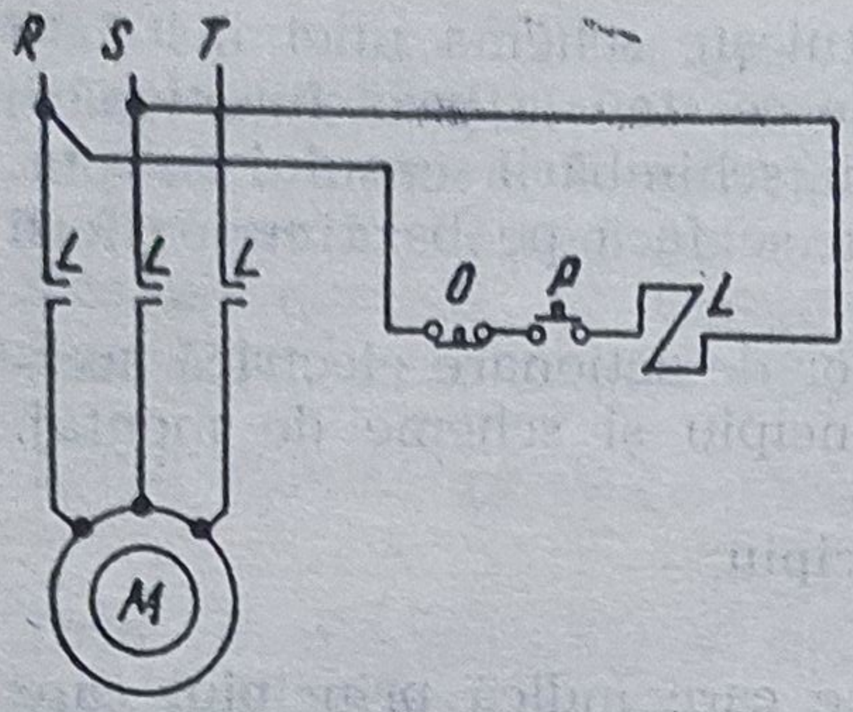


Fig. 9-2. Schemă desfăşurată.

ma instalaţiei se complică, iar descifrarea ei este mai dificilă.

Scheme desfăşurate sînt acele scheme în care părţile componente ale unui aparat se **notează separat** în circuitele în care ele funcţionează. De exemplu, în schema de lucru din figura 9-1 se observă că bobina *2* a contactorului este legată în circuitul în care este legat şi butonul de comandă *1*, şi care se numeşte *circuit de comandă*, iar contactele fixe şi mobile *6* ale contactului sînt legate în circuitul de alimentare a statorului motorului, care se numeşte *circuit de forţă*.

Întrucît în schemele desfăşurate circuitele de forţă sînt reprezentate separat de circuitele de comandă, diferitele părţi componente ale aparatelor din schemă vor fi plasate de asemenea separat. Deoarece, însă, într-o schemă electrică intră, de obicei, un număr mare de aparate, pentru a distinge părţile componente ale fiecărui aparat în parte, părţile comune se notează cu aceeaşi literă.

În figura 9-2 este reprezentată schema din figura 9-1 sub formă desfăşurată, cu deosebirea că s-a introdus în plus butonul de oprire *O*. În această schemă circuitul care leagă statorul motorului *M* la fazele *R*, *S*, *T* ale reţelei de alimentare este circuitul de forţă, iar circuitul în care se leagă bobina contactorului *L*, butonul de pornire *P* şi, în plus faţă de schema din figura 9-1, butonul de oprire *O*, este circuitul de comandă.

După cum se observă, elementele componente ale contactorului au fost legate separat, şi anume bobina contactorului în circuitul de comandă, iar contactele contactorului în circuitul de forţă. Se mai observă de asemenea că atît bobina contactorului, cît şi contactele sale au fost notate cu aceeaşi literă *L*, pentru a arăta că aparţin aceluiaşi aparat.

Comparînd cele două scheme (din fig. 9-1 şi din fig. 9-2), care din punctul de vedere a funcţionării sînt identice, se observă că în schema din figura 9-2, deci în schema desfăşurată, nu au fost figurate miezul *3* al contactorului, armătura mobilă *4* şi axul *5* pe care sînt montate contactele mobile, ci numai elementele esenţiale (funcţionale) ale aparatului, şi anume bobina *2* şi contactele *6*, notate cu aceeaşi literă *L*.

De obicei, litera cu care se notează aparatul din schemă indică şi funcţia îndeplinită de aparatul respectiv. De exemplu, în cazul din figura 9-2, bobina contactorului şi contactele sale au fost notate cu *L*, arătînd că este vorba de un contactor de linie, adică de un contactor care leagă motorul la reţeaua (linia) electrică de alimentare.

b. Schemele de montaj

Schemele de montaj, după cum o arată şi denumirea lor, sînt acele scheme care servesc la montarea instalaţiei respective. De obicei, schemele de montaj sînt alcătuite după modelul schemelor de principiu. Deoarece

la montaj, de obicei, nu interesează nici părţile componente ale aparatelor şi nici principiul lor de funcţionare, ci numai modul cum se leagă aparatele în schemă, în schemele de montaj este suficient să se figureze numai bornele exterioare ale aparatelor respective şi legăturilor lor la reţea şi la maşinile ce intră în instalaţia respectivă.

În figura 9-3 este reprezentată schema de montaj a instalaţiei electrice de acţionare a cărei schemă de lucru este indicată în figura 9-1. După cum se observă, pe schemă nu apare nici una din părţile componente ale contactorului *L*. Acesta este reprezentat printr-un dreptunghi pe care se notează bornele de intrare *1*, *2*, *3*, care sînt în legătură directă cu contactele fixe, bornele de ieşire *1'*, *2'*, *3'*, care sînt legate la contactele mobile ale contactorului şi bornele *a* şi *b*, prin care bobina contactorului este legată la reţea.

Pentru simplificarea schemei de montaj, atunci cînd se folosesc un număr mare de conductoare de legătură, acestea se pot reprezenta numai prin tuburile *C* şi *C'* în care se montează conductoarele, figurîndu-se doar capetele conductoarelor care se leagă la bornele de la reţea, aparate şi la maşinile din instalaţie.

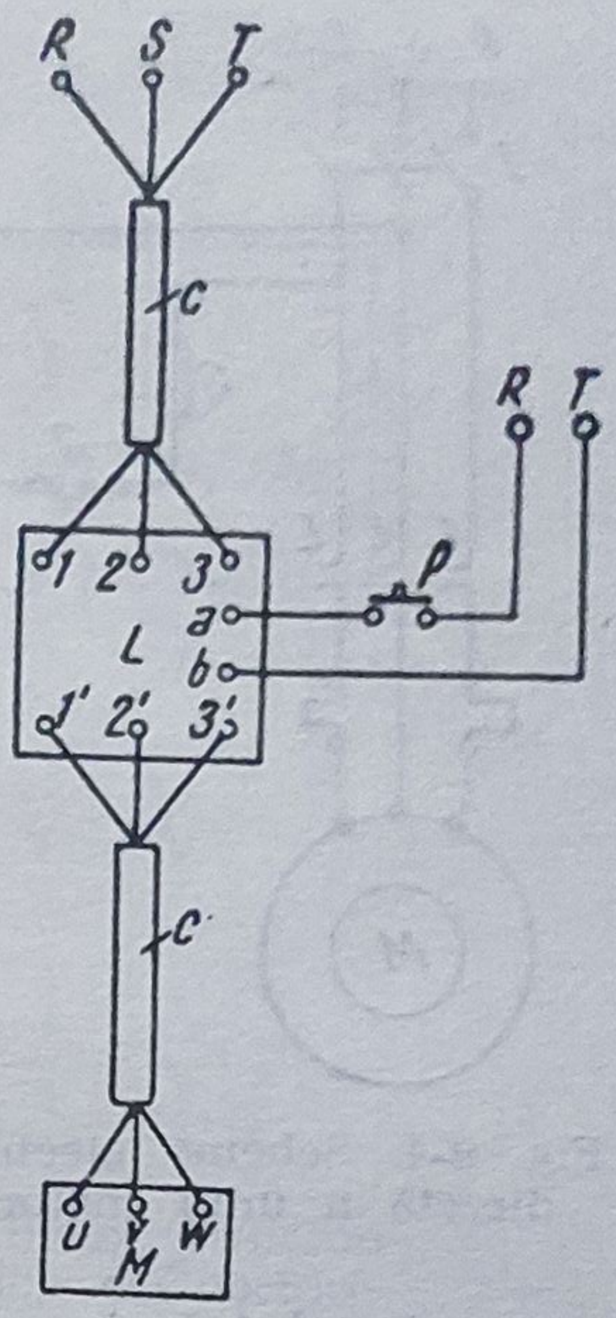


Fig. 9-3. Schemă de montaj.

3. EXEMPLE DE SCHEME DE COMANDĂ ŞI ACŢIONĂRI ELECTRICE

Cunoaşterea principiilor care au stat la baza alcătuirii schemei de comandă uşurează citirea şi înţelegerea mai uşoară a schemei de acţionare electrică.

● Spre exemplu, în figura 9-4 este reprezentată **schema electrică pentru pornirea directă a unui motor asincron trifazat în scurtcircuit.** Schema funcţionează în felul următor. După închiderea întreruptorului manual *I*, care pregăteşte punerea în funcţiune a instalaţiei, se apasă pe butonul de pornire *P*. Prin aceasta se închide circuitul de alimentare a bobinei contactorului de linie *L*. Acesta, fiind alimentat, îşi va închide contactele sale normale deschise *L* din circuitul statoric al motorului. Statorul motorului fiind alimentat, motorul va porni. O dată cu închiderea contactelor principale *L* din circuitul statoric, se închide şi contactul de blocare *l* care şuntează butonul de pornire *P*, făcînd posibilă funcţionarea motorului şi după ce butonul de pornire *P* nu mai este apăsat.

Oprirea motorului se face prin apăsarea pe butonul de oprire *O*. În acest caz, circuitul bobinei contactorului de linie se deschide. Se vor deschide deci şi contactele sale din circuitul statoric al motorului şi acesta ne mai fiind alimentat, motorul se va opri. O dată cu contactele principale *L* se deschide şi contactul de blocare *l*, astfel încît chiar dacă se ridică mîna de pe butonul de oprire şi acesta se reînchide, alimentarea bobinei contactorului de linie *L* nu este posibilă decît la o nouă apăsare pe butonul *P*.

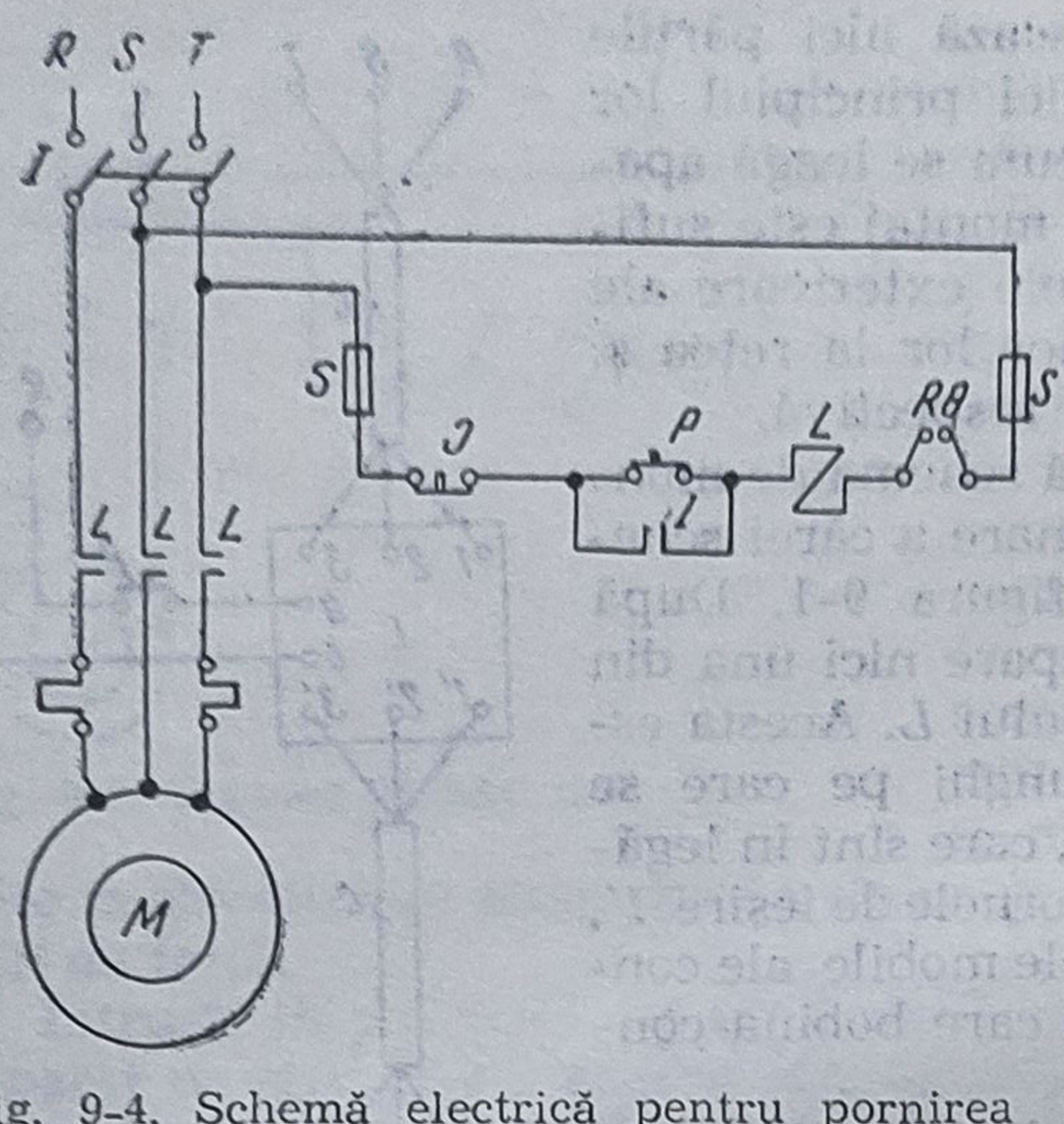


Fig. 9-4. Schemă electrică pentru pornirea directă a unui motor asincron trifazat.

Instalația este prevăzută cu protecția motorului contra supraîncălzirii, realizată cu relee termice. Elementele de încălzire $R\theta$ ale acestor relee se introduc pe două faze ale statorului motorului *(S* și *T)*. Contactul releului termic $R\theta$ este legat în serie cu bobina contactorului de linie *L*, deci în circuitul de comandă al schemei. Cînd motorul este încărcat peste valoarea admisă, curentul absorbit de motor de la rețea crește peste valoarea sa nominală și trecînd prin elementele de încălzire ale releului termic Rθ, acestea vor comanda deschiderea contactelor $R\theta$ din circuitul bobinei contactorului de linie *L*. Bobina contactorului *L* ne mai fiind alimentată, contactele sale din circuitul statoric al motorului se vor deschide și vor deconecta motorul de la rețea.

Protecția circuitului de comandă se realizează, așa cum se vede din figură, cu ajutorul siguranțelor fuzibile *S*.

Atunci cînd puterea motorului este mică, protecția sa se poate face de asemenea cu siguranțe fuzibile.

Alteori, protecția contra supraîncărcării motorului poate fi înlocuită cu o protecție contra curenților de scurtcircuit. În acest caz, în locul releelor termice se folosesc pentru protecție relee de curent maxim.

Folosirea contactorului de linie *L* prezintă avantajul că acesta, pe lîngă funcția de aparat de comutație, mai îndeplinește și funcția de aparat de protecție contra tensiunii scăzute sau a tensiunii nule. Într-adevăr, atunci cînd, datorită unei cauze oarecare, tensiunea la bornele contactorului de linie (deci între fazele de alimentare a contactorului) scade sau se anulează, contactorul *L* își eliberează armătura sa, fapt care duce la deconectarea motorului de la rețea. În același timp se deschide și contactorul *l*, care blochează butonul de pornire *P*, ceea ce face ca motorul să nu poată fi pornit din nou decît la o nouă apăsare pe butonul de pornire *P*. Protecția contra tensiunii nule sau a tensiunii scăzute este necesară pentru a se evita unele accidente, posibile în cazul revenirii tensiunii, atunci cînd motorul ar porni fără a se da din nou comanda de pornire.

● Așa cum s-a arătat la studiul mașinilor electrice, în cazul motoarelor asincrone în scurtcircuit, de putere mare sau mijlocie, pornirea se face cu intercalare de rezistențe sau de reactoare în circuitul statoric al motorului, pentru a se evita curenții mari la pornire. În figura 9-5 este indicată **schema de pornire a unui motor asincron în scurtcircuit cu folosirea rezistențelor în circuitul statornic pentru pornire.**

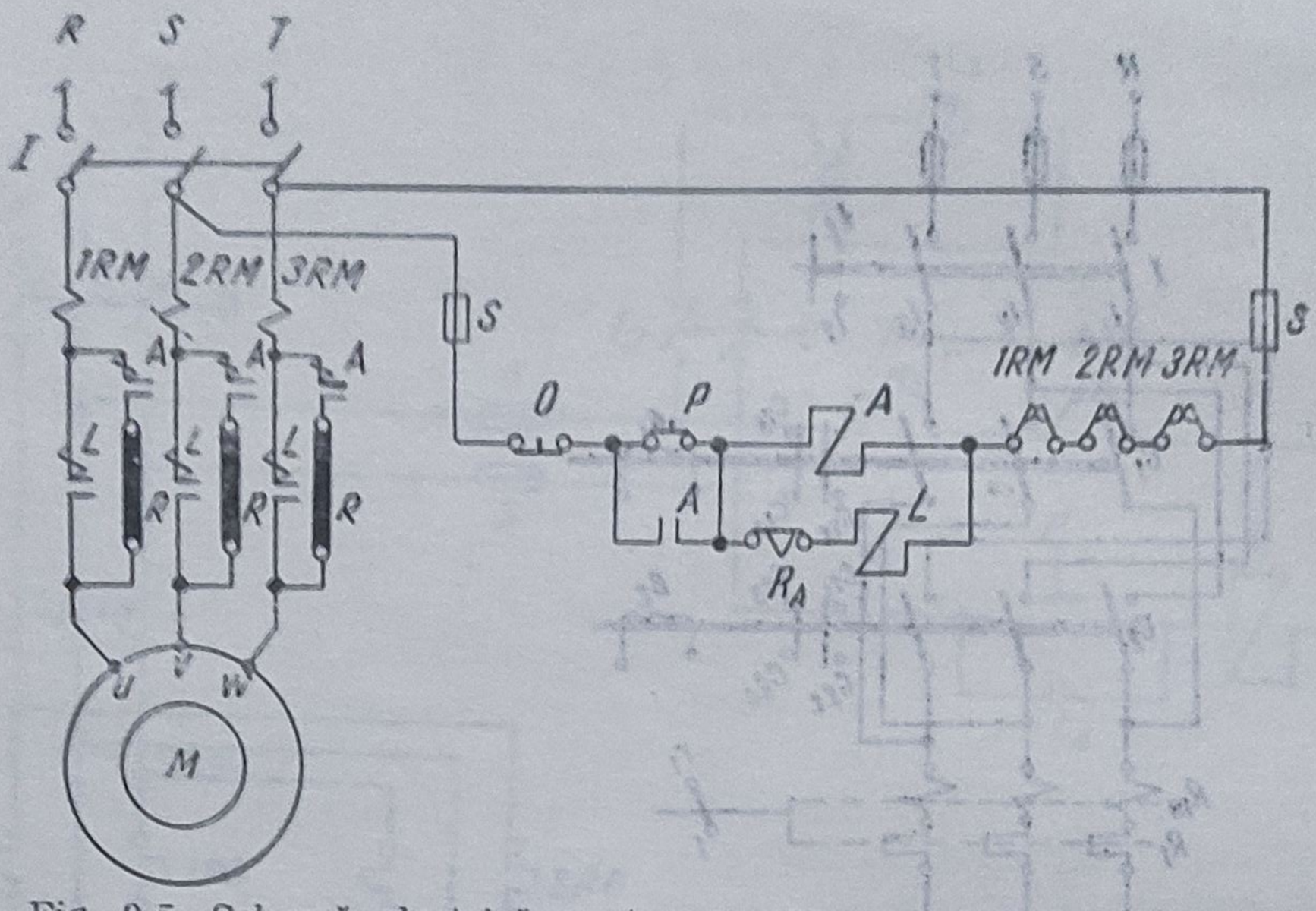


Fig. 9-5. Schemă electrică pentru pornirea unui motor asincron cu rotorul în scurtcircuit cu ajutorul rezistenţelor de pornire

Schema funcţionează în modul următor : la apăsarea pe butonul de pornire *P* este alimentată bobina contactorului de accelerare *A*. Acest contactor atrăgîndu-şi armătura, închide contactele normal deschise din circuitul statoric al motorului *M*, legîndu-l la reţeaua de alimentare prin intermediul rezistenţelor de pornire *R*.

Motorul va porni deci cu rezistenţele *R* în circuitul statoric, fapt care va limita curentul la pornire la o valoare redusă.

O dată cu contactorul de accelerare *A* intră în funcţiune şi un releu de timp al cărui contact normal deschis cu temporizare la închidere R_A este montat în serie cu bobina contactorului de linie *L*. Prin urmare, după trecerea unui interval de timp, contactul releului R_A se închide, închizînd şi circuitul bobinei contactorului de linie *L*. Acesta, la rîndul său, închizîndu-şi contactele sale *L*, din circuitul statoric al motorului, va scurtcircuita rezistenţele de pornire *R*, deci va conecta statorul motorului *M* direct la reţeaua de alimentare. Motorul comandat fiind de putere mijlocie sau mare, contactele principale ale contactoarelor *A* şi *L* din circuitul de forţă sînt prevăzute cu bobine de suflaj.

Motorul este protejat contra scurtcircuitelor cu relee de curent maxim *1 RM*, *2 RM*, *3 RM* conectate în circuitul de alimentare, a statorului, şi cu contactele de rupere montate în circuitul de comandă, în serie cu bobinele contactoarelor. Deschiderea unuia dintre aceste contacte de rupere va duce la decuplarea statorului motorului de la reţea.

● **Schemă de comandă pentru pornirea şi inversarea sensului de rotaţie a motoarelor asincrone în scurtcircuit.** Schemele din figura 9-6 se referă la realizarea unui inversor cu contactoare folosit la comanda motoarelor asincrone cu rotor în scurtcircuit ce lucrează în ambele sensuri de rotaţie. Inversarea sensului de rotaţie se realizează prin schimbarea a două faze în alimentarea motorului.

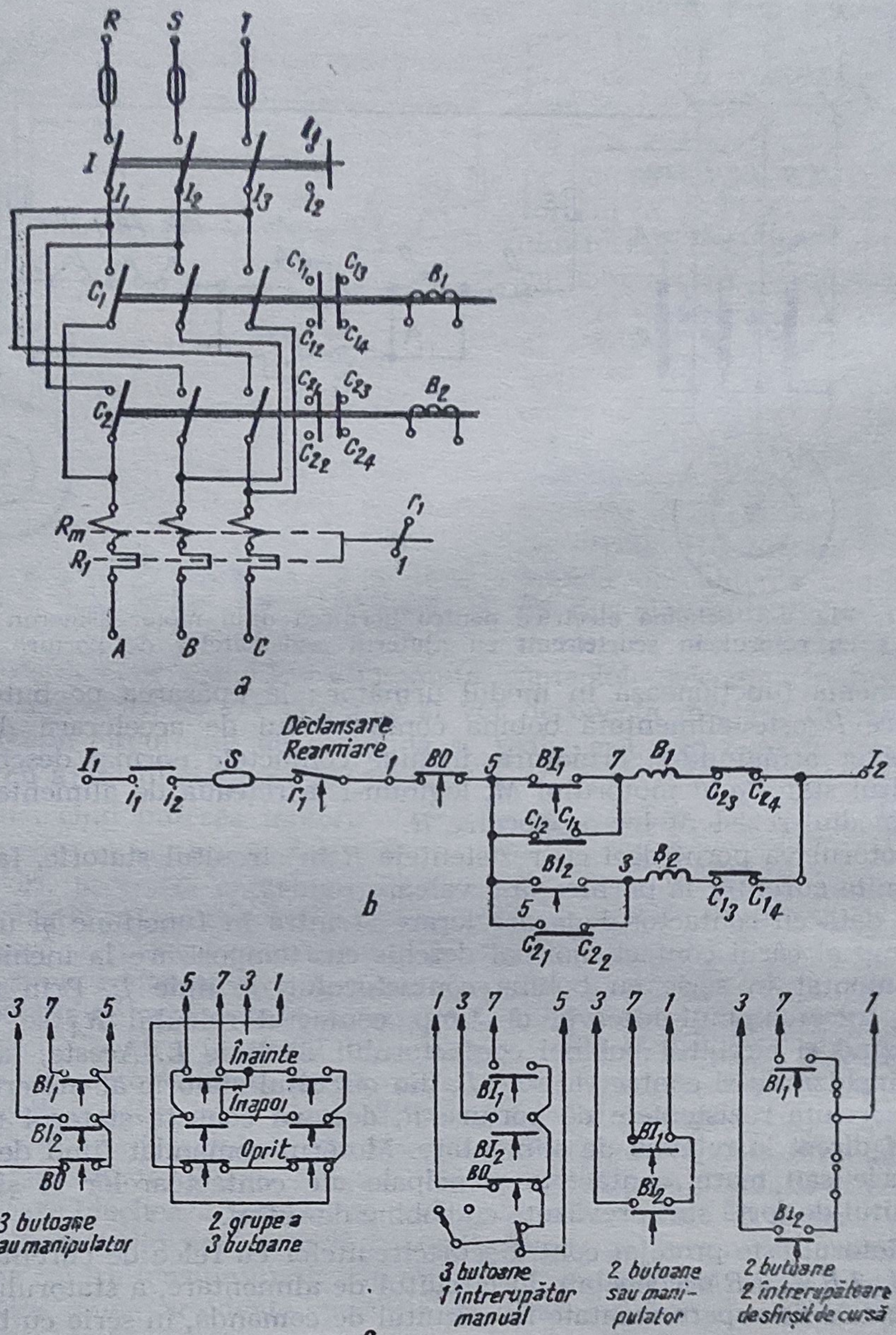


Fig. 9-6. Schema electrică pentru pornirea motoarelor asincrone și inversarea sensului de rotație utilizînd două contactoare :

a — schema circuitului principal ; b — schema monofilară a circuitului de comandă ; c — diverse variante de scheme care realizează comanda ; BI1 — buton pentru comanda mersului înainte ; BI2 — buton pentru comanda mersului înapoi ; BO — buton de oprire.

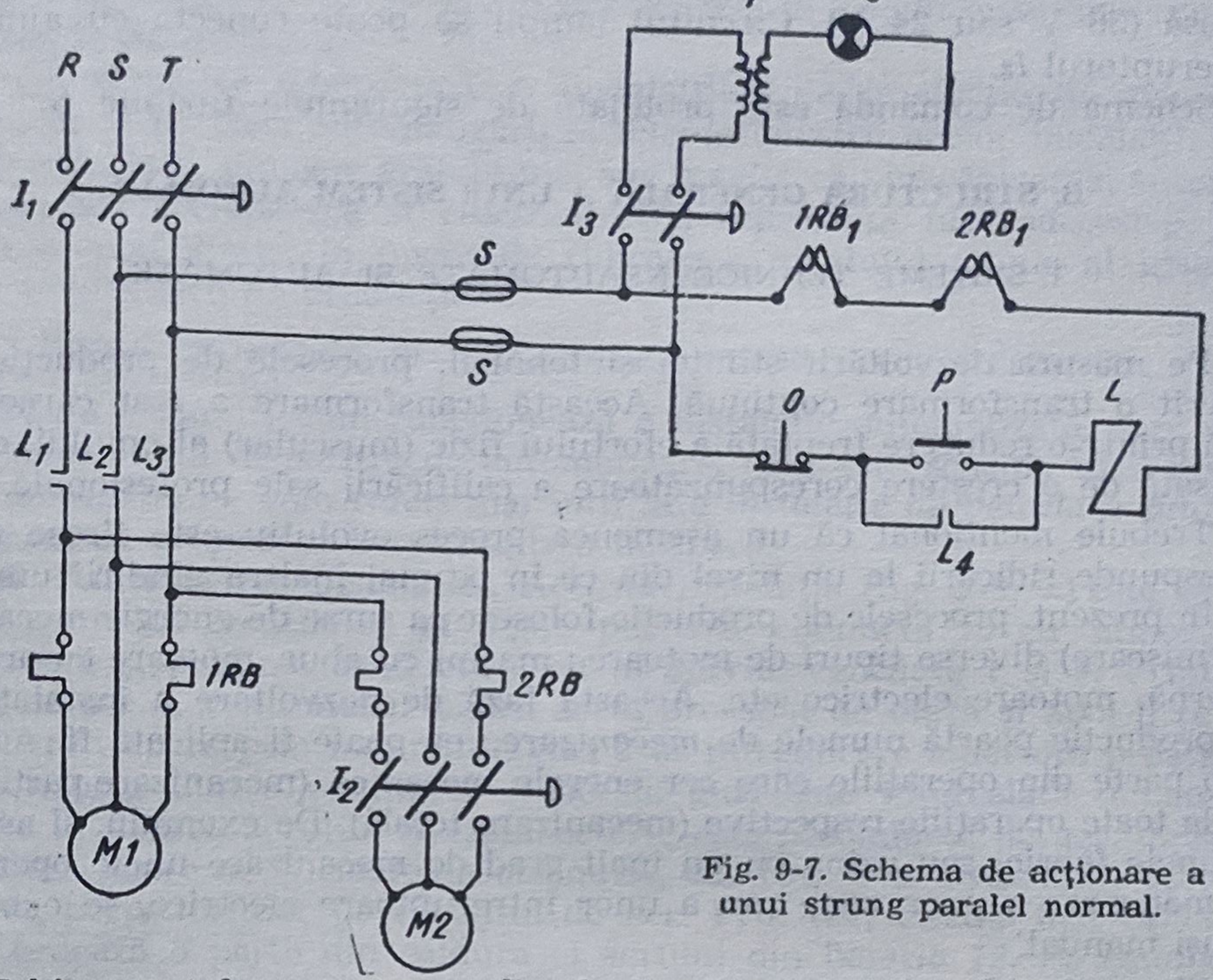


Fig. 9-7. Schema de acţionare a unui strung paralel normal.

Echipamentul se compune din două contactoare interblocate mecanic sau electric, astfel încît închiderea simultană a celor două contactoare să fie imposibilă (închiderea simultană a celor două contactoare poate provoca un scurtcircuit).

Schemele din figura 9-6, *c* indică o serie de posibilităţi în ceea ce priveşte modul de comandă.

● **Schema de acţionare a unui strung.** În figura 9-7 este reprezentată schema de acţionare a unui strung. S-a notat cu M_1 motorul de acţionare a strungului şi cu M_2 motorul de antrenare a pompei pentru lichidul de răcire.

Pornirea se realizează astfel : întrerupătorul I_1 fiind în prealabil închis, se apasă pe butonul *P*; prin bobina contactorului *L* trecînd curent, se închid contactele L_1, L_2, L_3 şi L_4 ; deci motorul M_1 este legat la reţea. Eliberînd butonul *P*, bobina *L* rămîne sub tensiune, deoarece circuitul se închide prin contactul L_4. Închizînd întrerupătorul I_2, este pus sub tensiune şi motorul M_2.

La oprire, prin apăsarea butonului *O*, bobina *L* este scoasă de sub tensiune, iar contactele L_1, L_2, L_3 şi L_4 se deschid. Eliberînd butonul *O*, prin bobina contactorului *L* nu circulă curent din nou, deoarece L_4 rămîne deschis.

Motoarele M_1 şi M_2 sînt protejate de relee termice (*1RB* şi *2RB*), care acţionează asupra circuitului de comandă al contactoarelor.

La suprasarcină, contactele $1RB_1$, sau $2RB_1$ se deschid, întrerupînd alimentarea bobinei *L*.

Circuitul de lumină este alimentat prin transformatorul T la tensiune redusă (36 V sau 24 V). Circuitul lămpii se poate conecta cu ajutorul întreruptorul I_3.

Schema de comandă este protejată de siguranțele fuzibile S.

B. STRUCTURA GENERALĂ A UNUI SISTEM AUTOMAT

1. SISTEME TEHNICE NEAUTOMATE ȘI AUTOMATE

Pe măsura dezvoltării științei și tehnicii, procesele de producție au suferit o transformare continuă. Această transformare a fost caracterizată printr-o reducere treptată a efortului fizic (muscular) al omului, compensată de o creștere corespunzătoare a calificării sale profesionale.

Trebuie menționat că un asemenea proces evolutiv este firesc și el corespunde ridicării la un nivel din ce în ce mai înalt a gîndirii umane.

În prezent, procesele de producție folosesc ca surse de energie mecanică (de mișcare) diverse tipuri de motoare ; mașini cu abur, motoare cu ardere internă, motoare electrice etc. Această fază de dezvoltare a instalațiilor de producție poartă numele de *mecanizare* ; ea poate fi aplicată fie numai la o parte din operațiile care cer energie mecanică (mecanizare parțială), fie la toate operațiile respective (mecanizare totală). De exemplu, și astăzi, în unele fabrici sau uzine cu un înalt grad de mecanizare unele operații, ca manevrarea unor vane sau a unor întreruptoare electrice, se execută totuși manual.

Sistemele tehnice neautomate sînt acelea în care omul intervine direct pentru a comanda, supraveghea, controla și lua deciziile necesare într-un proces de producție. Chiar dacă este mecanizat, adică omul nu intervine cu un efort fizic pentru a acționa sistemul tehnic, acesta poate să fie neautomat, adică funcțiile de comandă, control, reglare etc. sînt executate de om.

Prin introducerea *automatizării* omul nu mai participă direct la procesul de producție ; lui îi revine numai sarcina de supraveghere și întreținere a sistemelor automate. Rezultă de aici că pentru a putea automatiza un proces tehnologic, el trebuie ca mai întîi să fie complet mecanizat. Astfel, de exemplu, toate vanele trebuie prevăzute cu motor de acționare, toate întreruptoarele cu dispozitive de comandă etc.

În unele cazuri există o serie de instalații complexe repartizate pe un teritoriu vast. Pentru a se realiza o conducere centralizată care să asigure funcționarea în bune condiții a instalației în ansamblu, este necesar ca deciziile de conducere să fie luate de la un punct central. Din acest punct se poate acționa de la distanță asupra parametrilor principali ai fiecărei instalații sau element în parte : aceasta reprezintă *telemecanizarea* instalațiilor respective.

Știința care se ocupă de problemele telemecanizării poartă numele de *telemecanică* (tele = distanță).

În sfîrșit cea mai înaltă formă de organizare a proceselor tehnologice o constituie *cibernetizarea*. Aceasta reprezintă realizarea cu ajutorul mașinilor de calcul a unor procese de gîndire asemănătoare cu cele produse în

creierul omenesc şi luarea diverselor decizii în conducerea unui proces tehnologic complex.

Se observă că cibernetizarea instalaţiilor de producţie nu poate fi făcută decît pe baza automatizării şi telemecanizării acelor instalaţii.

În concluzie, din cele arătate mai sus rezultă că : mecanizarea, automatizarea, telemecanizarea şi cibernetizarea reprezintă faze succesive, din ce în ce mai înalte, în opera de ridicare a nivelului tehnic al instalaţiilor tehnologice de producţie.

2. FUNCŢIONAREA ŞI ALCĂTUIREA SISTEMELOR AUTOMATE

Pentru a lămuri cum funcţionează o instalaţie automatizată, care sînt elementele unui dispozitiv de automatizare, care este schema unei instalaţii automate, ne vom referi mai întîi la o *instalaţie de ventilare simplă*, destinată să primească aerul, dintr-o încăpere.

● **Funcţionarea instalaţiei.** Această instalaţie (fig. 9-8, *a*) este alcătuită dintr-un ventilator *11* legat printr-o conductă *10* cu atmosfera exterioară şi printr-o conductă *7* cu încăperile ventilate *1* şi *3*. Printr-o priză de aer *9*, ventilatorul aspiră aerul proaspăt de afară şi apoi îl refulează în încăpere prin mai multe guri *2* de introducere a aerului proaspăt. Pe conducta dintre ventilator şi aceste guri este intercalată o baterie pentru încălzirea aerului. Această baterie este o conductă de aer, de secţiune mai mare decît conducta obişnuită, dar care este străbătută de ţevi aşezate perpendicular pe curentul de aer. Prin ţevi circulă apă caldă *8*, care cedează o parte din căldura ei aerului din bateria *12*. Pe conducta destinată alimentării cu apă caldă a bateriei de încălzire se află un robinet *6*. Deschizînd mai mult sau mai puţin robinetul, prin ţevile bateriei va trece o cantitate mai mare sau mai mică de apă caldă. Cu cît această cantitate este mai mare, cu atît va creşte şi temperatura aerului ce trece prin baterie şi este refulat în încăperea ventilată, şi invers. Cînd robinetul este închis complet şi prin ţevi nu mai circulă de loc apă caldă, aerul va trece neîncălzit spre gurile de introducere a aerului proaspăt în încăpere.

În cazul în care aerul refulat este încălzit prea tare, senzaţia de căldură devine curînd de nesuportat, cu atît mai mult cu cît şi temperatura din încăpere creşte repede.

Pentru ca o instalaţie de ventilare să corespundă şi să poată fi utilizată în tot cursul anului, este nevoie să se asigure în orice moment temperatura necesară aerului introdus în încăpere. Aceasta se poate obţine prin manevrarea robinetului de pe circuitul de apă caldă al bateriei.

Se va presupune că instalaţia de ventilare n-a fost încă automatizată şi sarcina menţinerii temperaturii aerului a fost încredinţată provizoriu unui mecanic.

● **Menţinerea constantă a temperaturii aerului refulat** în încăpere se poate realiza prin două procedee.

— Pentru *menţinerea temperaturii constante prin primul procedeu*, mecanicul montează un termometru *4* undeva pe conducta *10*, între priza de aer şi bateria de încălzire. Cu ajutorul lui se află temperatura aerului de afară.

Fig. 9-8. Instalație de ventilație: *a* — primul procedeu pentru menținerea constantă a temperaturii aerului: 1 — încăpere ventilată; 2 — gură pentru introducerea aerului proaspăt; 3 — încăpere ventilată; 4 — termometru; 5 — bateria de apă caldă; 6 — robinet; 7 — conductă cu aer rece; 8 — conductă cu apă caldă; 9 — priză de aer proaspăt; 10 conducta cu aer încălzit; 11 — ventilator; 12 bateria de încălzire a aerului; 13 — țeavă de apă caldă; 14 — conducta de întoarcere a apei ce a cedat căldura; *b* — al doilea procedeu; 1 — scară termometrică indicînd valoarea prescrisă; 2 — termometru.

În funcție de temperatura aerului de afară, citită la un moment dat pe termometru, mecanicul deschide mai mult sau mai puțin robinetul *6* de pe conducta *8*, de apă caldă, care duce la bateria de încălzire a aerului. Dacă afară e mai frig, el deschide robinetul mai mult, iar dacă e mai cald, îl deschide mai puțin, pentru ca aerul introdus în încăpere să aibă de fiecare dată aceeași temperatură.

Pentru a reuși să obțină întotdeauna aceeași temperatură este necesar ca mecanicul să etaloneze din timp robinetul; pentru fiecare temperatură exterioară mecanicul va ști astfel care este poziția robinetului ce asigură temperatura necesară aerului introdus în încăpere. Aceasta este valabil cît timp nu se modifică nici unul din ceilalți factori de care depinde temperatura aerului încălzit ca: temperatura apei calde, viteza de curgere prin țevi, starea țevilor, viteza aerului prin baterie etc. În realitate, prin acest sistem nu se va putea obține întotdeauna exact temperatura necesară.

— Dacă temperatura aerului introdus în

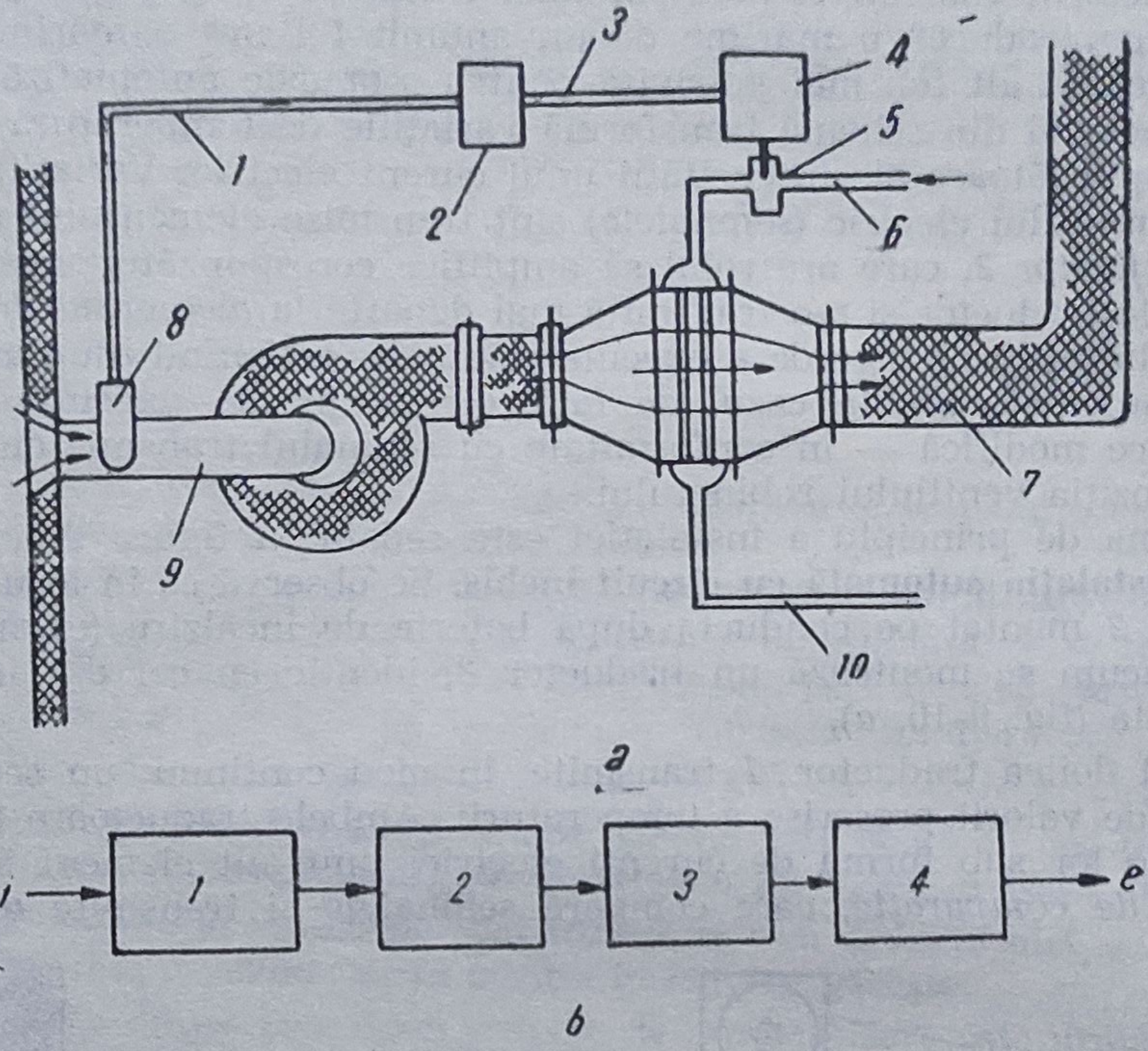


Fig. 9-9. Instalaţie de ventilaţie automată cu circuit deschis :
a — schema de principiu a instalaţiei : 1, 3 — traductoare electrice ; 2 — element de amplificare ; 4 — element de execuţie ; 5 — robinet ; 6 — conductă cu apă caldă ; 7 — aer încălzit ; 8 — traductor ; 9 — conductă cu aer rece ; 10 — conducta cu apă rece ce a cedat căldura ; b — schema bloc a instalaţiei automate : 1 — traductor ; 2 — amplificator ; 3 — element de execuţie ; 4 — instalaţie automatizată ; i — mărimea de intrare (temperatura aerului proaspăt) ; e — mărimea de ieşire (temperatura aerului introdus în încăpere).

încăpere trebuie menţinută riguros constantă, va trebui recurs la un *alt procedeu*. De data aceasta mecanicul montează termometrul *2* pe conducta de aer, după bateria de încălzire (fig. 9-8, *b*). Cu ajutorul lui se află temperatura aerului introdus în încăpere. Această temperatură trebuie — aşa cum s-a văzut mai înainte — să fie menţinută cît mai aproape de valoarea prescrisă, care poate fi citită pe scara termometrică *1*. Reglarea robinetului se face acum numai în funcţie de valoarea citită pe termometru.

— *Dacă se automatizează procesul de ventilaţie a încăperilor* în ambele situaţii ilustrate de figura 9-8, instalaţiile de ventilaţie vor fi absolut identice, însă dispozitivele de automatizare vor diferi între ele. Unul dintre ele este un sistem de automatizare cu circuit deschis, iar celălalt — un sistem de automatizare cu circuit închis.

● Se va examina mai întîi **instalaţia automată cu circuit deschis** (fig. 9-9). În locul termometrului pe care mecanicul îl montase — în primul procedeu, din figura 9-8, *a* — pe conductă, înainte de bateria de încălzire a aerului, este montat acum un aparat, numit *traductor* (poz. *8* din figura 9-9, *a*).

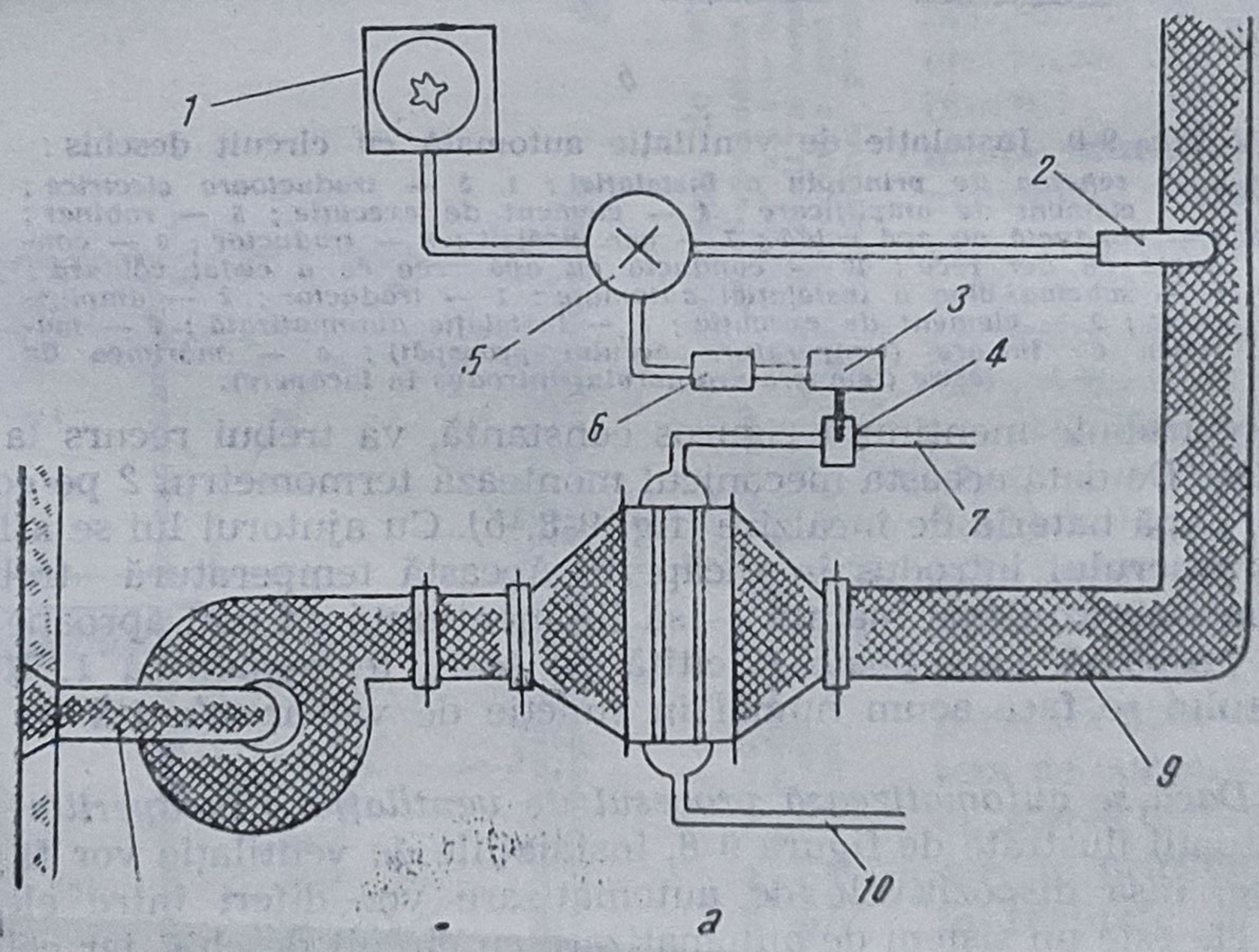
Traductorul este un element al unei instalații automate, care transformă sau „traduce“ o mărime de un anumit fel într-o mărime corespunzătoare de alt fel, mai potrivită pentru scopurile automatizării.

Traductorul din schemă transformă variațiile de temperatură în variații corespunzătoare ale intensității unui curent electric. Variațiile intensității curentului electric (semnalele) sînt transmise elementului următor, un *amplificator 2*, care are rolul să amplifice corespunzător energia primită de la traductor și s-o transmită mai departe la *elementul de execuție 4*. Rolul acestuia este de a executa comanda, acționînd asupra instalației de automatizare. În cazul de față, elementul de execuție este un motoraș ce modifică — în conformitate cu semnalul transmis de traductor — poziția ventilului robinetului.

Schema de principiu a instalației este redată în figura 9-9, *b*.

● **Instalația automată cu circuit închis.** Se observă că în locul termometrului *2* montat pe conductă după bateria de încălzire (ca în figura 9-8, *b*) acum se montează un traductor *2*, identic cu cel din instalația precedentă (fig. 9-10, *a*).

Un al doilea traductor *1* transmite în mod continuu un semnal ce corespunde valorii prescrise a temperaturii. Ambele traductoare transmit semnalele lor sub formă de curenți electrici unui alt element *5*, numit *element de comparație*, care compară semnalele și transmite diferența

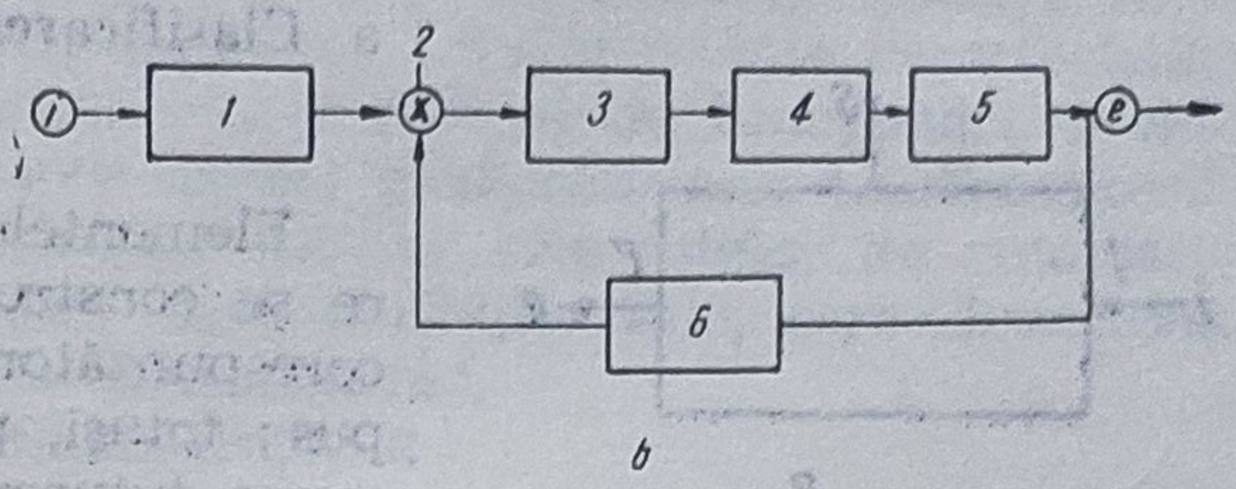


a

Fig. 9-10. Instalație de ventilație automată cu circuit închis:
a — schema de principiu a instalației: 1 — traductor de intrare; 2 — traductor de reacție; 3 — element de execuție; 4 — robinet; 5 — element de comparație; 6 — amplificator; 7 — conductă cu apă caldă; 8 — conductă cu aer rece; 9 — conductă cu aer încălzit; 10 — conductă cu apă ce a cedat căldura; b — schema bloc a instalației automate; 1 — traductor de intrare; 2 — element de comparație; 3 — amplificator; 4 — element de execuție; 5 — instalație automatizată; 6 — traductor de reacție; i — temperatura prescrisă a aerului introdus în încăpere; e — temperatura aerului introdus în încăpere.

lor la un amplificator *6*, iar acesta mai departe, la elementul de execuție *3*, care deschide sau închide, mai mult sau mai puțin, robinetul *4* de apă caldă al bateriei de încălzire a aerului.

Schema instalației automate de ventilație este reprodusă în figura 9-10, *b*.



b

Fig. 9-10, b.

Traductorul de reacție *2* măsoară temperatura aerului introdus în încăpere și transmite elementului de comparație semnalul corespunzător.

Elementul de comparație transmite mai departe amplificatorului diferența dintre semnalele primite, iar aceasta — amplificată — se transmite prin elementul de execuție robinetului bateriei, care face să varieze temperatura aerului introdus în încăpere. Variația temperaturii aerului introdus este măsurată din nou de traductorul de reacție și ciclul continuă mereu. Atunci cînd temperatura aerului este egală cu cea prescrisă, elementul de comparație primește două semnale egale, a căror diferență este egală cu zero și atunci nu mai transmite mai departe nici un semnal și robinetul rămîne nemișcat în poziția în care se găsește.

Deosebirea dintre cele două sisteme de automatizare este următoarea :

— Prima instalație reacționează — de fapt — la variația unei mărimi independente de procesul automatizat (temperatura aerului proaspăt), lucru care apare clar din schema-bloc din figura 9-9, *b*. Asemenea sisteme se numesc *sisteme automate cu circuit deschis*, din care fac parte, de exemplu, *sistemele de comandă automată*.

— Cea de a doua instalație reacționează la variația unei mărimi ce depinde de procesul automatizat, ceea ce se vede clar din schema-bloc din figura 9-10, *b*. De aceea, asemenea sisteme se numesc *sisteme automate cu circuit închis* sau *sisteme de reglare automată*.

C. ELEMENTELE FUNCȚIONALE ALE UNUI SISTEM AUTOMAT

1. GENERALITĂȚI

În prezentarea structurii generale a unui sistem automat s-au arătat pe scurt și cîteva elemente funcționale ale instalațiilor de automatizare. În cele ce urmează se va arăta detailat clasificarea acestora, rolul lor în instalații, principiul de funcționare și principalele caracteristici.

Noțiunea de *elemente* se referă atît la părțile din care este formată instalația tehnologică de producție (rezervoare, pompe, motoare etc.), care nu formează obiectul acestui curs, cît și la părțile din care este format dispozitivul de automatizare, aplicat instalației tehnologice respective, elementele dispozitivelor de automatizare.

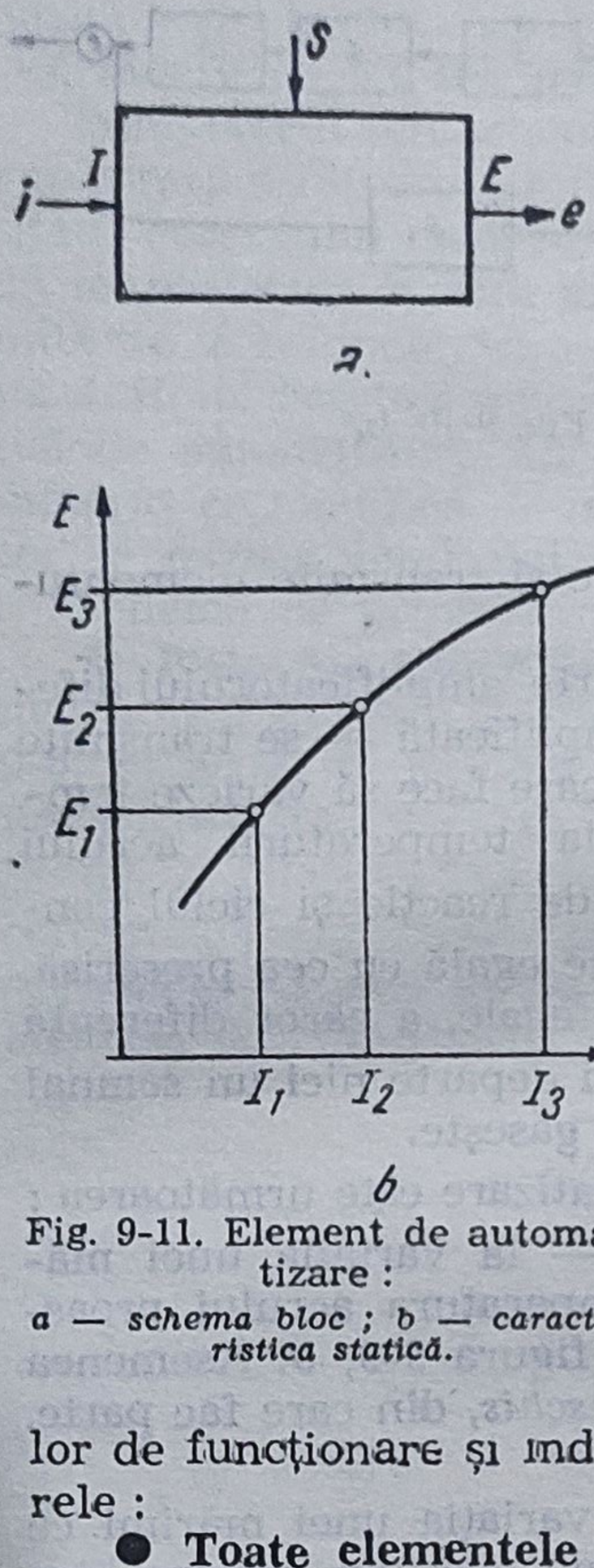


Fig. 9-11. Element de automatizare :

a — schema bloc ; b — caracteristica statică.

a. Clasificarea elementelor dispozitivelor de automatizare

Elementele dispozitivelor de automatizare se construiesc într-o gamă foarte mare, corespunzător scopului de automatizare propus ; totuşi, pe baza unor caracteristici comune tuturor acestor elemente, ele se pot clasifica :

● **După principiul de funcţionare** se disting : traductoare, amplificatoare, relee, stabilizatoare, distribuitoare, sisteme de transmisie sincronă etc.

● **După felul energiei folosite** se deosebesc : elemente electrice, elemente pneumatice şi elemente hidraulice.

● Pentru specificarea unui element de automatizare, acesta este definit **pe baza ambelor criterii de clasificare ;** astfel, în componenţa dispozitivelor de automatizare se întîlnesc : traductoare hidraulice, relee pneumatice, amplificatoare electrice etc.

b. Caracteristicile elementelor de automatizare

Caracteristicile comune tuturor elementelor de automatizare, indiferent de principiul lor de funcţionare şi indiferent de natura energiei folosite, sînt următoarele :

● **Toate elementele de automatizare pot fi reprezentate în scheme, sub forma unor dreptunghiuri numite blocuri.** Blocul are cel puţin două puncte de legătură : „intrarea“ *I* şi „ieşirea“ *E* prin care se leagă de celelalte părţi în sistemul automat. Unele elemente de automatizare cuprind în plus o legătură la o sursă de energie S electrică, hidraulică sau pneumatică (fig. 9-11, *a*) prin care elementul primeşte energia necesară funcţionării lui.

● **Între valoarea mărimii fizice aplicate la intrarea unui element** (mărime de intrare *I*) şi valoarea mărimii obţinute, la eşirea acelui element (mărimea de ieşire *E*) există o relaţie precisă, care poate fi reprezentată grafic sub forma din figura 9-11, *b*. Această reprezentare grafică poartă numele de *caracteristica statică* a elementului de automatizare şi caracterizează funcţionarea elementului în sistemul automat.

Această caracteristică arată că dacă, de exemplu, mărimea de la intrare are o valoare I_1, mărimea obţinută la ieşire are o valoarea E_1 ş.a.m.d.

● O trăsătură specifică importantă este şi aceea că, **în general, elementul de automatizare funcţionează numai în sensul de la intrare spre ieşire şi nu funcţionează în sens invers.** Astfel, referitor la figura 9-11, *b*, dacă se aplică la intrarea elementului valorile I_1, I_2, I_3 se ob-

ţin la ieşire valorile E_1, E_2, respectiv E_3, însă aplicîndu-se la ieşire valorile E_1, E_2, E_3, nu se obţine nimic la intrare. Cu alte cuvinte, caracteristica statică este valabilă numai pentru sensul normal de funcţionare a elementului, adică de la intrare spre ieşire; elementul este unidirecţional.

In afara acestor trăsături comune tuturor elementelor de automatizare, fiecare tip de element are particularităţile sale, care determină mai precis funcţionarea sa în sistemul automat.

2. TRADUCTOARE

La o instalaţie tehnologică se întîlnesc o serie de *parametri tehnologici* care pot fi *de natură electrică* (tensiune, curent, frecvenţă etc.) sau *de natură neelectrică* (presiune, temperatură, nivel, debit etc.).

Pentru a fi introduşi într-o schemă de automatizare, aceşti parametri trebuie să fie transformaţi în alte mărimi care, de obicei sînt mărimi electrice.

De pildă, dacă se urmăreşte transformarea presiunii unui fluid într-o mărime elctrică se poate proceda astfel : printr-o construcţie specială, în locul acului indicator al unui manometru cu tub elastic, se montează cursorul unui reostat (fig. 9-12, *a*).

Cînd presiunea p măsurată de manometru variază, de exemplu creşte, tubul (care este de fapt un tub metalic construit sub formă de spirală) se destinde deplasînd cursorul unui reostat de formă circulară. Prin modificarea poziţiei cursorului C, valoarea R a rezistenţei obţinute între cursor şi capătul rezistenţei variază.

Cu ajutorul elementului descris se poate obţine deci o transformare (o „traducere") a presiunii în rezistenţă electrică. Astfel pentru o presiune de 1, 2, 3, kgf/cm, rezistenţa poate căpăta valorile de 5, 10, 15... ohmi.

Un asemenea element de automatizare poartă numele de traductor.

Caracteristica statică a unui traductor are în general forma unei linii drepte sau uşor curbate (fig. 9-12, *b*) ; dacă mărimea de intrare creşte

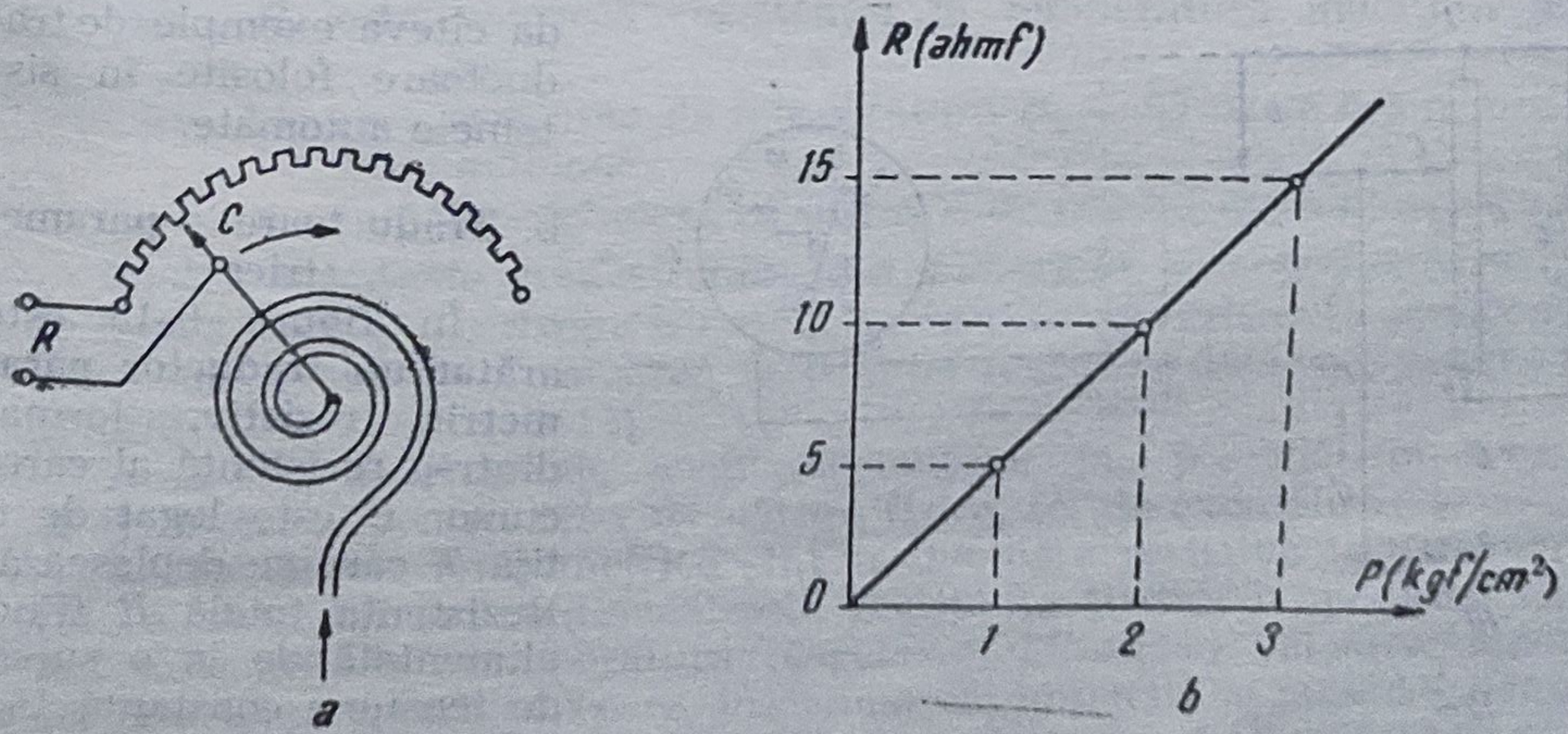


Fig. 9-12. Traductor rezistiv de presiune :
a — schema de principiu ; b — caracteristica statică.

foarte mult, mărimea de ieșire este limitată la o anumită valoare. În exemplul dat, oricît ar crește presiunea aplicată traductorului, cursorul C nu se poate deplasa decît pînă la extremitatea din dreapta, deci mărimea de ieșire, rezistența, este limitată la valoarea maximă a reostatului. În practică este necesar să se cunoască raportul între valoarea mărimii de ieșire E și a mărimii de intrare I care se numește *sensibilitatea traductorului (s)*:

$$S = \frac{E}{I}.$$

In exemplul de mai sus, sensibilitatea traductorului este $s = 5$ ohmi/kgf/cm^2.

a. Clasificarea traducătoarelor

Traductoarele folosite în sistemele automate se pot clasifica în funcție de mai multe criterii:

● **In funcție de natura mărimii aplicată la intrare** se disting:

— *traductoare de mărimi neelectrice* (temperatură, presiune, deplasare, viteză, debit, accelerație etc.);

— *traductoare de mărimi electrice* (curent, frecvență, putere, fază etc.).

● **În funcție de mărimea electrică de la ieșire** se deosebesc:

— *traductoare parametrice*, la care mărimea măsurată este transformată într-un „parametru de circuit electric" (rezistență, inductanță sau capacitate) a cărei valoare este funcție de mărimea măsurată;

— *traductoare generatoare* la care mărimea măsurată este transformată într-o tensiune electromotoare a cărei valoare depinde de mărimea măsurată.

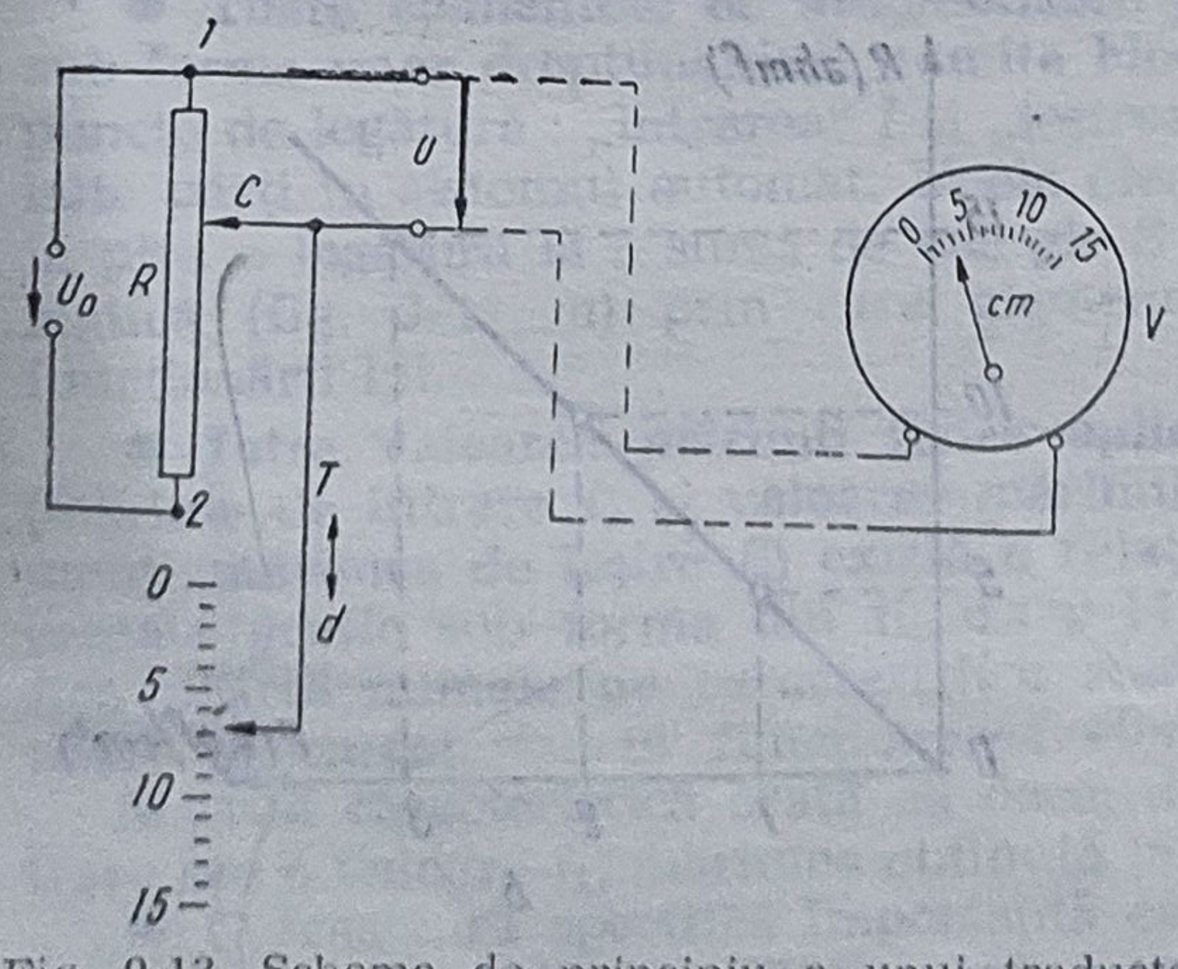


Fig. 9-13. Schema de principiu a unui traductor rezistiv pentru măsurarea deplasărilor.

În continuare se vor da cîteva exemple de traductoare folosite în sistemele automate.

b. Traductoare parametrice

În figura 9-13 este **arătat un traductor parametric rezistiv,** format dintr-o rezistență al cărei cursor C este legat de o tijă T care se deplasează. Rezistența totală R fiind alimentată de la o sursă de tensiune constantă U_0, voltmetrul V legat între cursor și un capăt al rezis-

tenței va măsura o anumită tensiune U. Se observă că tensiunea U variază o dată cu deplasarea tijei T, fiind egală cu zero atunci cînd cursorul se află la capătul superior *1* al rezistenței și egală cu U_0 cînd cursorul se află la capătul inferior 2. Voltmetrul V este etalonat direct în centimetri de deplasare a tijei.

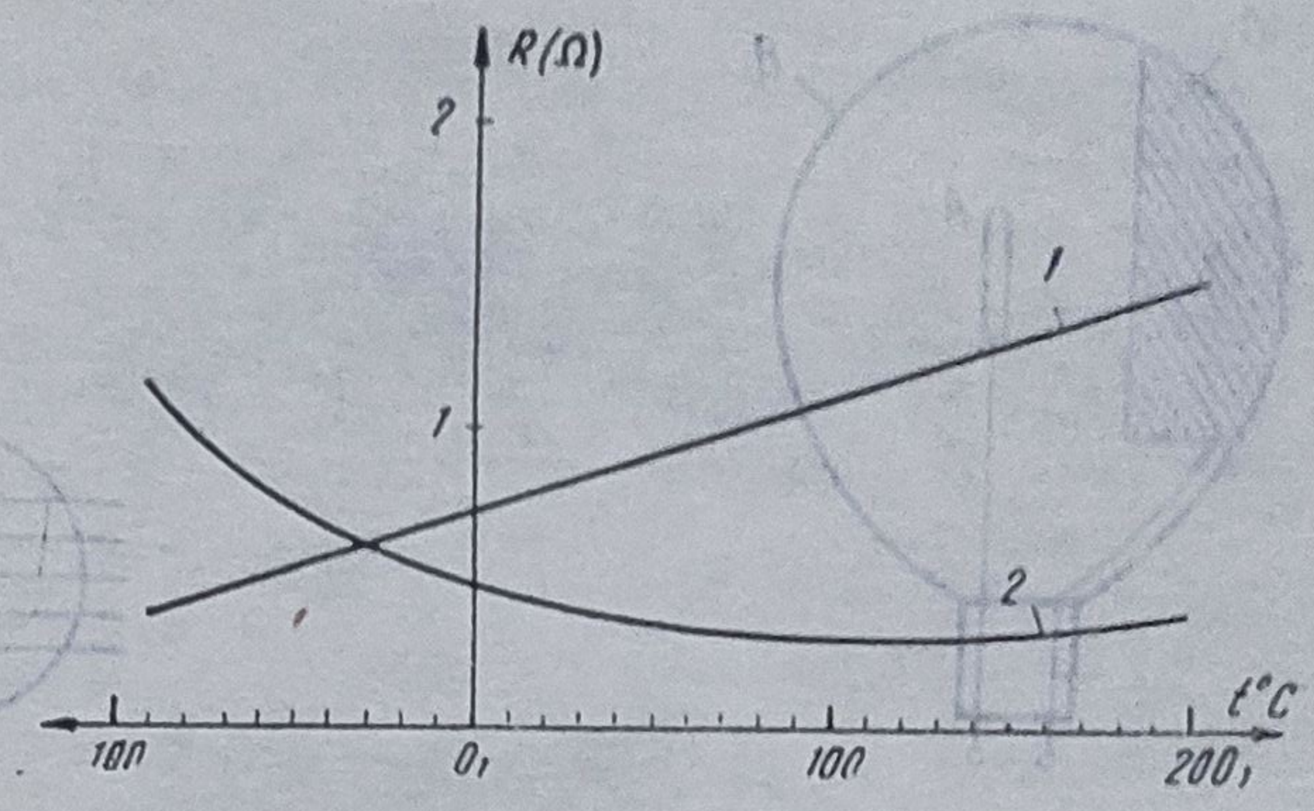


Fig. 9-14. Caracteristicile statice ale termorezistențelor.

Mărimea de intrare a traductorului este deplasarea d, iar mărimea de ieșire este acea parte din rezistența R cuprinsă între cursorul C și capătul *1*.

Intrucît traductorul respectiv funcționează cu un potențiometru, el se mai numește și *traductor potențiometric*.

Se constată că acest traductor, ca de altfel, toate traductoarele parametrice, are nevoie de o sursă de energie electrică necesară pentru a se pune în evidență variația parametrului respectiv (rezistență, inductanță, capacitate).

Din categoria traductoarelor parametrice rezistive fac parte și *termorezistențele*. Acestea sînt rezistențe metalice sau din materiale semiconductoare a căror valoare se schimbă cu temperatura.

După cum se știe, rezistivitatea materialelor variază cu temperatura, după anumite legi. Astfel, pentru rezistențele confecționate din materiale conductoare (cupru, nichel, fier), valoarea rezistenței R crește cu temperatura (curba *1* din figura 9-14) după o lege de forma:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t),$$

în care: R_0 este valoarea rezistenței la temperatura mediului ambiant t_0;

Δt — creșterea de temperatură $(t_1 - t_0)$ peste cea a mediului ambiant;

α — un coeficient ce depinde de natura metalului.

Pentru rezistențe confecționate din materiale semiconductoare (oxid de cupru, sulfură de magneziu etc.), numite *termorezistențe semiconductoare sau termistoare*, *valoarea rezistenței* R scade o dată cu creșterea temperaturii (curba 2, fig. 9-14).

Aceste proprietăți ale termorezistențelor fac posibilă folosirea lor ca traductoare pentru diferite mărimi fizice, ca, de exemplu:

Traductoarele termometrice sînt traductoare rezistive la care temperatura mediului ambiant încălzește rezistența și deci îi modifică valoarea în funcție de temperatura respectivă. Măsurînd valoarea rezistenței la o temperatură oarecare, înseamnă că, implicit, se măsoară valoarea acelei temperaturi. Din figura 9-14 se observă că sensibilitatea termistoarelor este mai mare în zona temperaturilor joase, fapt care la

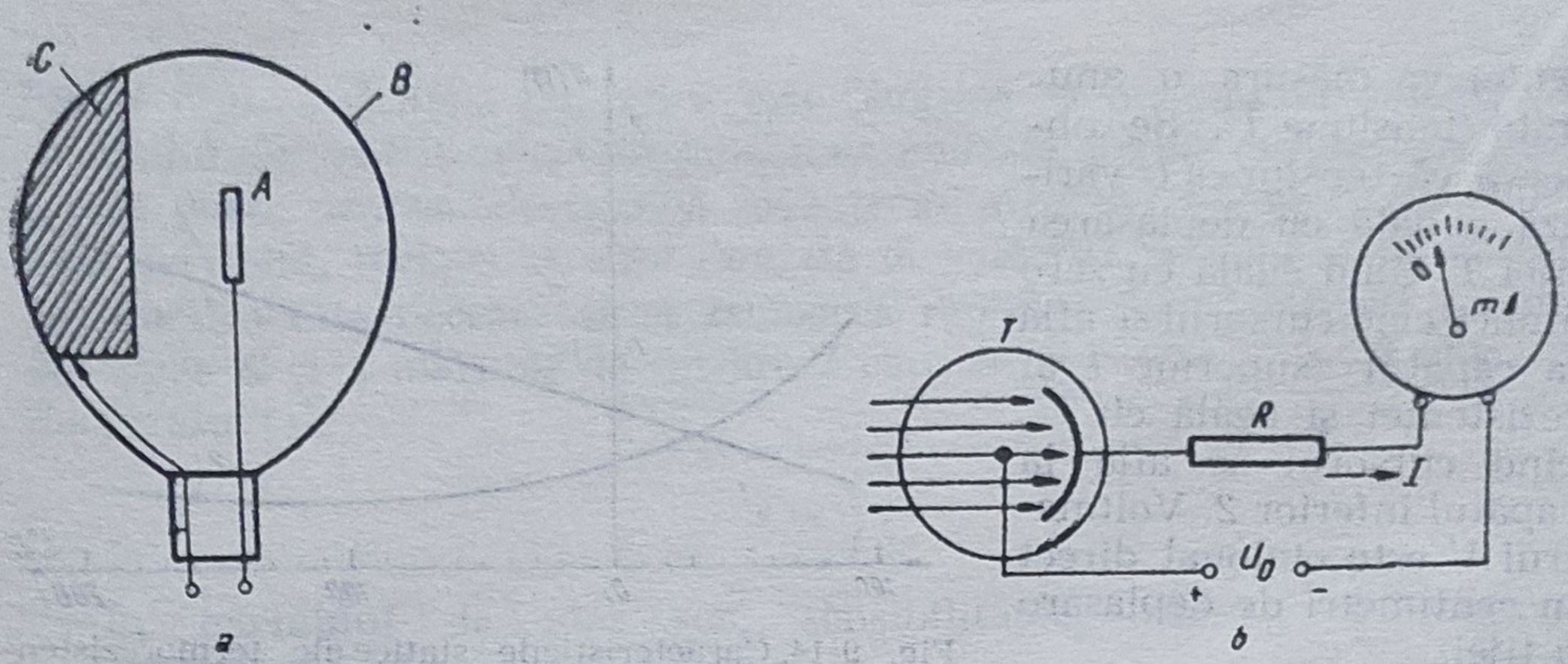


Fig. 9-15. Traductor fotoemisiv :
a — construcție ; b — schema de montare a traductorului.

măsurarea temperaturilor sub 0°C adeseori se folosesc termistoare.

Traductoarele fotoelectrice transformă variația fluxului luminos fie în variația unei rezistențe (traductoarele fotoemisive și fotorezistive), fie în variația unei tensiuni electrice (traductoarele fotovoltaice).

Tipul de traductor (celulă) fotoemisiv este format dintr-un balon de sticlă *B* (fig. 9-15, *a*), în care se află un catod *C* și un anod *A*. Un fascicul luminos căzînd pe catodul *C* (format dintr-o peliculă de cesiu-argint sau stronțiu) provoacă o emisie de electroni (emisie fotoelectronică), a cărei intensitate crește o dată cu creșterea intensității fluxului luminos. Pe măsura creșterii curentului de electroni, rezistența între cei doi electrozi (rezistența internă a tubului) scade. În concluzie, rezistența traductorului fotoelectric scade cu atît mai mult cu cît fuxul luminos este mai intens.

Celula fotoelectrică *T* legată în serie cu o rezistență constantă *R* și alimentată de la o sursă de curent continuu U_0 (fig. 9-15, *b*) va fi deci străbătută de un curent *I*, care va crește o dată cu creșterea fluxului luminos.

Traductoarele parametrice inductive se construiesc sub forma unor bobine cu miez magnetic, avînd un întrefier variabil, a căror inductanță *L* variază cu întrefierul *d* (fig. 9-16).

Variația întrefierului *d* este produsă de o forță mecanică exterioară *F*.

În figura 9-17 este arătat un traductor inductiv cu o schemă simetrică, numit *traductor diferențial*, pentru măsurarea deplasărilor *d*.

Bobinele B_1 și B_2 identice, au un miez magnetic comun *m*. Cînd miezul *m* se află în poziția mediană (deplasare zero), inductivitățile proprii ale celor două bobine sînt egale ($L_1 = L_2$), puntea de măsurare (formată cu ajutorul rezistențelor *R*) este echilibrată și deci curentul prin aparatul *A* este nul. Cînd tija *T* solidară cu miezul *m* se deplasează, puntea se dezechilibrează ($L_1 \neq L_2$) iar aparatul *A*, care este străbătut de curentul de dezechilibru *I*, avînd scara gradată direct în centimetri, indică valoarea deplasării.

Funcționarea traductoarelor parametrice capacitive se bazează pe variația capacității *C* a condensatoarelor sub influența unei mărimi de

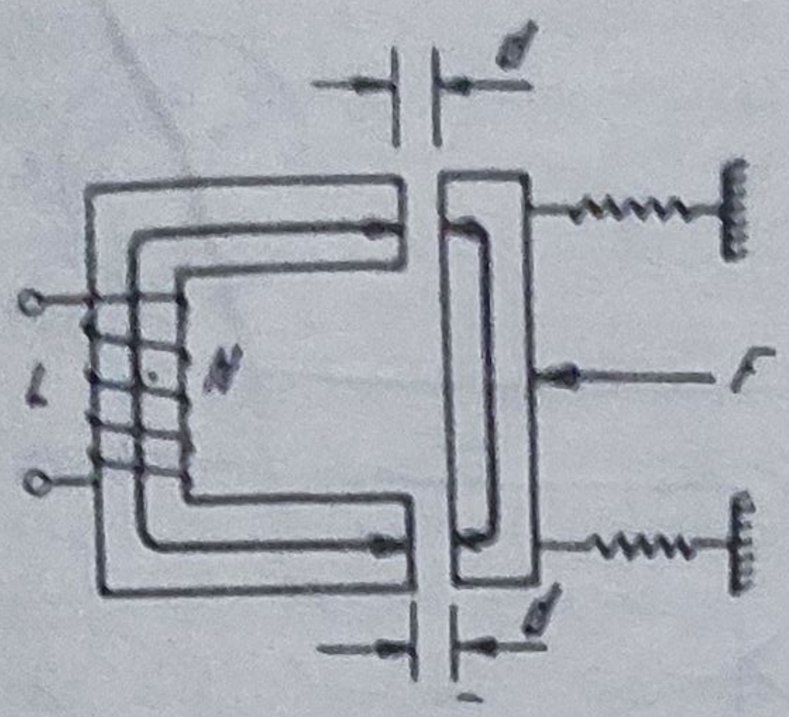


Fig. 9-16. Traductor inductiv.

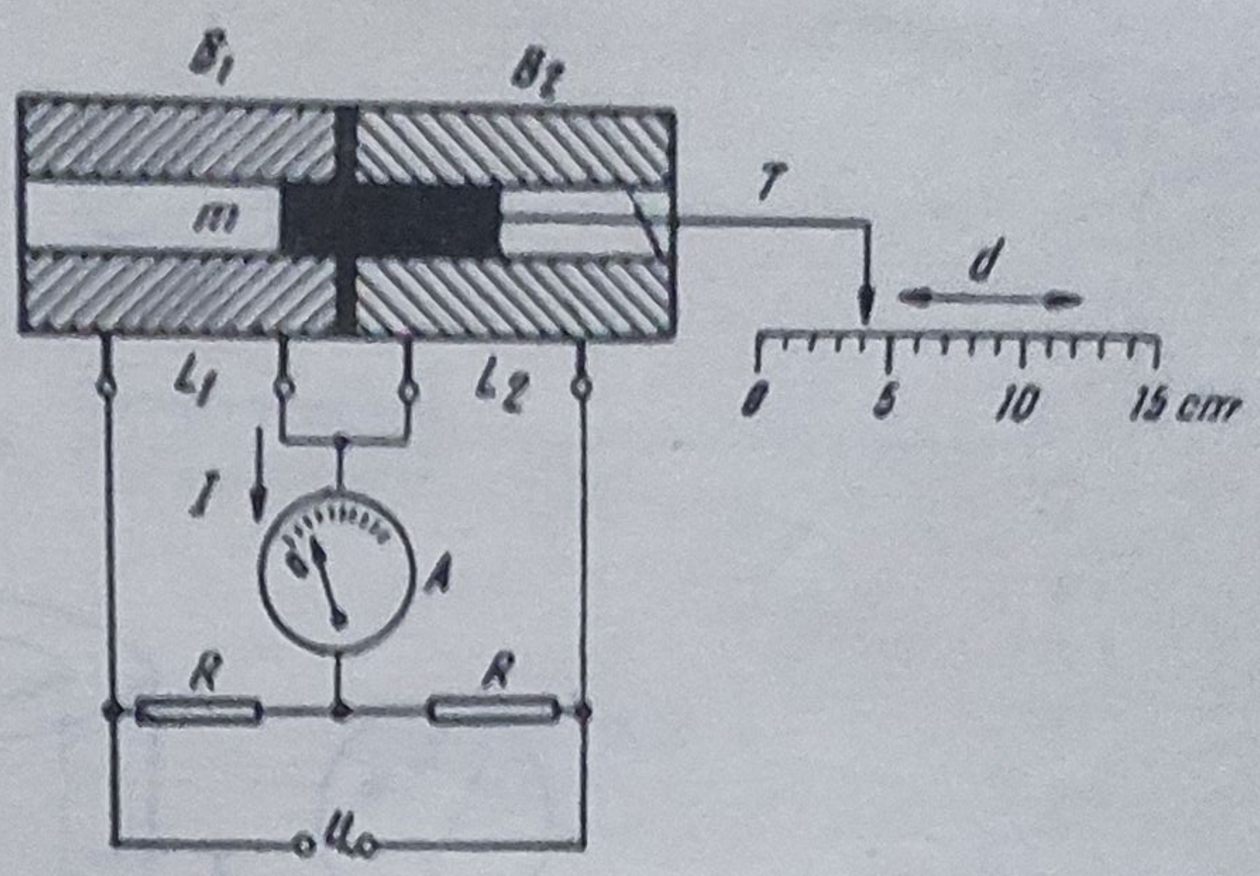


Fig. 9-17. Traductor inductiv diferențial.

măsurat care modifică unul dintre parametrii de bază ai capacității: suprafața armăturilor S, permitivitatea dielectrică sau distanța dintre armături d. Pentru condensatoarele plan-paralele, valoarea capacității este dată de relația:

$$C = \frac{\varepsilon S}{d},$$

adică variază proporțional cu suprafața armăturilor și cu permitivitatea dielectrică și invers proporțional cu distanța între armături. Traductorul capacitiv din figura 9-18, *a*, format de fapt din două capacități (C_1 și C_2) legate în serie, permite măsurarea diametrului D al unui ax în timpul strunjirii de către cuțitul S. Pe măsură ce diametrul D scade, distanțele d dintre armăturile condensatoarelor C_1 și C_2 cresc (armătura comună a condensatoarelor este chiar axul prelucrat). Miliampermetrul A este gradat direct în centimetri, măsurați pentru diametrul D.

Traductorul capacitiv din figura 9-18, *b* este folosit pentru măsurarea nivelului unui lichid neconductor. El este format din doi cilindri metalici concentrici A_1 și A_2 (reprezentînd chiar armăturile unui condensator), iar lichidul al cărui nivel H trebuie măsurat este introdus între cei doi cilindri. Permitivitatea dielectrică ε a lichidului fiind diferită de a aerului, capacitatea traductorului va varia în funcție de nivelul lichidului.

b. **Traductoare generatoare**

Dintre traductoarele generatoare, cele de inducție permit transformarea unei deplasări liniare sau circulare (turații) în tensiune electromotoare de inducție. Un asemenea traductor este **traductorul tahometric** (fig. 9-19, a) sau *tahogeneratorul*, care reprezintă de fapt un mic generator de curent continuu. Deoarece tensiunea electromotoare E este proporțională cu turația n (la flux de excitație constant Φ = ct):

$$E = K \cdot \Phi \cdot n,$$

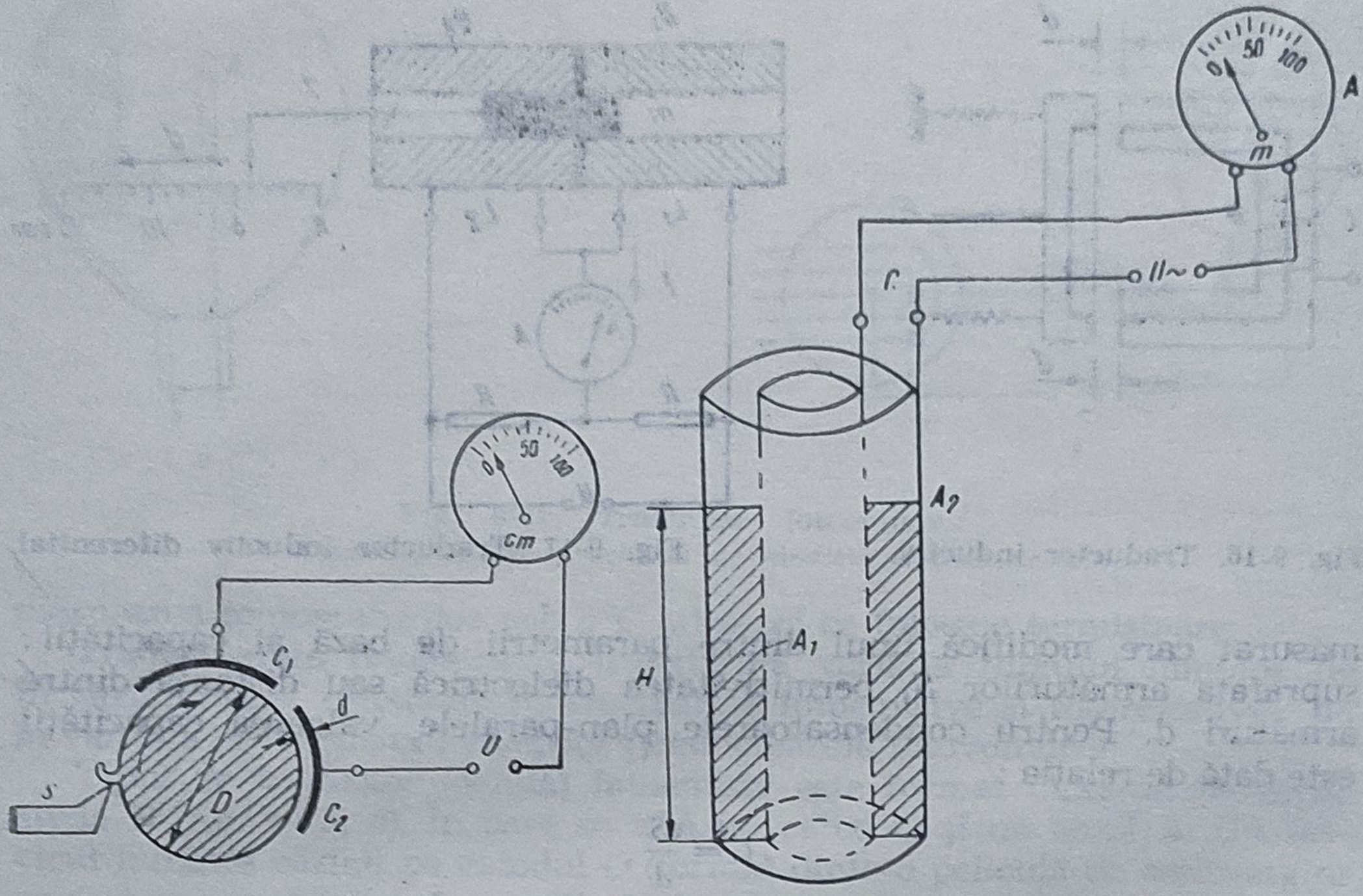


Fig. 9-18. Traductor capacitiv :
a — pentru controlul diametrelor ; b — pentru determinarea nivelului lichidelor izolante.

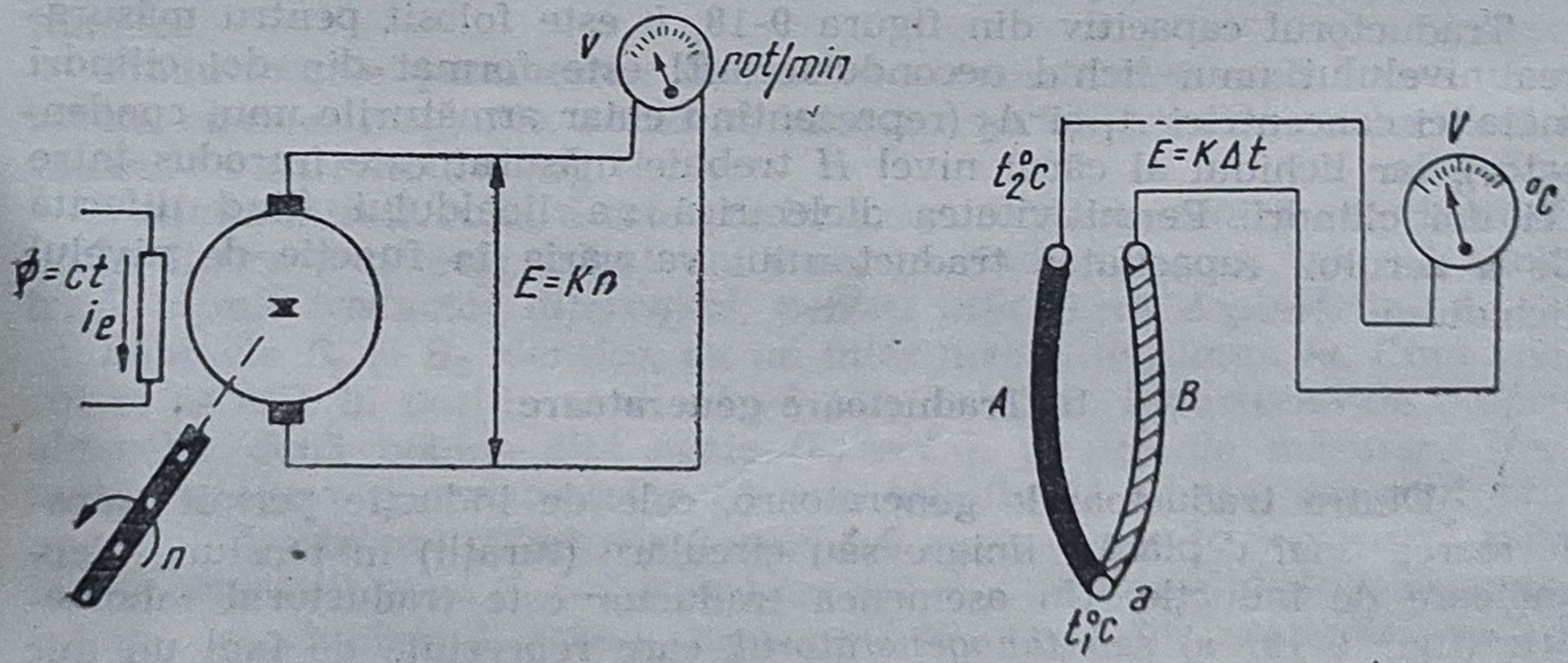


Fig. 9-19. Traductoare generatoare :
a — tahogenerator ; b — termocuplu ; c — traductor piezoelectric.

rezultă că un voltmetru V montat la bornele tahogeneratorului și gradat în rotații/min, va măsura turația n a axului.

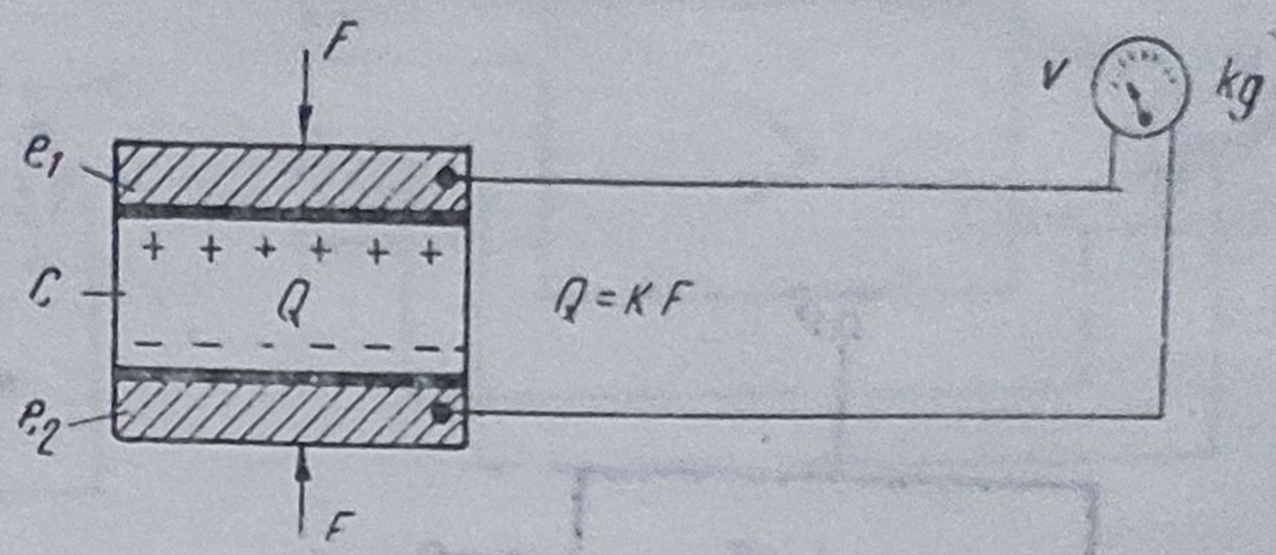


Fig. 9-19 c.

● **Traductoarele termoelectrice** sînt traductoare generatoare constituite din electrozi formați din două metale diferite A și B (fig. 9-19, *b*). Dacă se încălzește punctul *a* de sudură între cele două materiale la o temperatură t_1°C, celelalte capete ale electrozilor fiind menținute la temperatură constantă t_2°C, se obține o tensiune E la voltmetrul V, numită *tensiune termoelectromotoare*, care este proporțională cu diferența de temperatură $t = t_1$°C $- t_2$°C, adică $E = K \Delta t$.

Elementul electric format din cele două materiale (termoelectrozi) poartă numele de *termocuplu*. Pentru confecționarea acestor tipuri de traductoare de temperatură se folosesc următoarele materiale: fier-constantan, platină-platină-rhodiu, nichel-cromnichel etc.

● Tot din categoria traductoarelor generatoare fac parte **traductoarele piezoelectrice.**

Efectul piezoelectric este manifestat de cristalele unor materiale (cuarțul, sarea Seignette, titanatul de bariu etc.) care au proprietatea de a produce sarcini electrice pe fețele lor atunci cînd sînt supuse unor forțe mecanice.

Traductorul piezoelectric (fig. 9-19, c) cuprinde cristalul C plasat între electrozii e_1 și e_2. Sub influența forței de măsurat F apar sarcinile electrice $+Q$, $-Q$, proporționale cu această forță.

Tensiunea U obținută în circuitul de măsurare al aparatului V este:

$$U = \frac{Q}{C_0 + C_1},$$

în care:

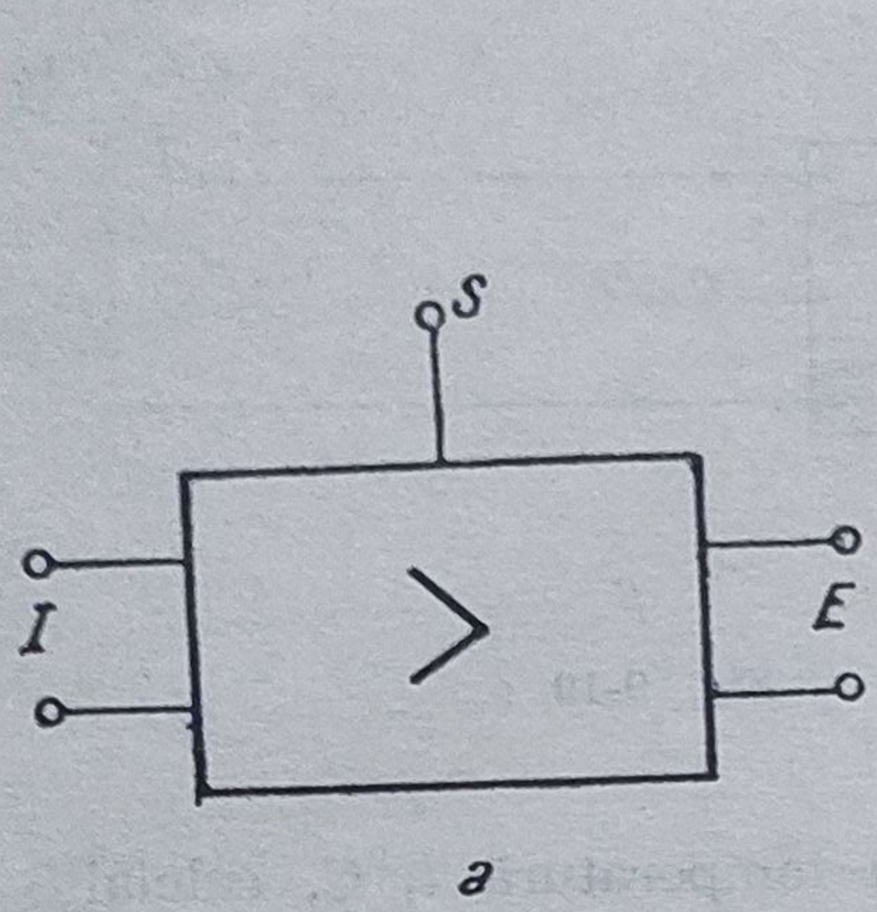
C_0 este capacitatea cristalului considerat;
C_1 — capacitatea proprie a circuitului de măsurare.

3. AMPLIFICATOARE

a. Principiul de funcționare

Mărimile electrice care intervin în sistemele automate (curenți, tensiuni etc.) au uneori valori prea mici, care nu pot fi aplicate direct elementelor următoare. De exemplu, tensiunea termoelectromotoare obținută de la un termocuplu fier-constantan este de numai 0,06 volți pentru o temperatură de 1 000°C.

In aceste situații este necesară folosirea unor amplificatoare, elemente la care mărimea de ieșire are aceeași formă de variație în timp ca și mărimea de intrare, însă are o putere mai mare.



a b

Fig. 9-20. Amplificator :
a — schema bloc ; b — caracteristica statică.

Schema bloc a unui amplificator este reprezentată în figura 9-20, *a*, iar caracteristica sa statistică — în figura 9-20, *b*.

După cum se vede din schema bloc, amplificarea nu se poate realiza decît prin folosirea unei surse de energie auxiliară *S*. Deşi schema bloc şi caracteristica statică a unui amplificator sînt asemănătoare cu acelea ale unui traductor parametric, diferenţa esenţială între ele este că *în cazul amplificatorului mărimea de ieşire şi mărimea de intrare au aceeaşi natură fizică.*

● **Parametri.** Înclinarea sau **panta** caracteristicii statice :

$$K = \frac{E_1 - E_0}{I_1}$$

se numeşte **coeficientul de amplificare** al amplificatorului, I find o valoare oarecare a mărimii de intrare în domeniul de lucru al amplificatorului, E_1 fiind mărimea de ieşire corespunzătoare, iar E_0 reprezentînd mărirea de ieşire cînd mărimea de intrare este zero.

● **Reacţia.** În scopul îmbunătăţirii performanţelor lor, amplificatoarele pot fi făcute cu „reacţie", adică o parte *r* din mărimea *E* de la ieşire este adusă înapoi la intrare. Dacă această parte *r* se adună cu mărimea de intrare (fig. 9-21, *a*), *reacţia este pozitivă*, iar amplificarea totală a amplificatorului creşte ; dacă mărimea *r* se scade din mărimea de intrare (fig. 9-21, *b*), *reacţia este negativă* şi amplificarea scade.

● Cea mai simplă schemă de amplificare constituie un **etaj de amplificare.** În figura 9-21, *c* s-a reprezentat schema în cascadă, realizată prin legarea în serie a mai multor etaje de amplificare A_1, A_2, A_3. Prin aceasta, coeficientul total de amplificare se măreşte ; notînd cu K_1, K_2, K_3 coeficienţii de amplificare (în decibeli) ai fiecărui etaj, coeficientul total de amplificare *K* va fi :

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 .$$

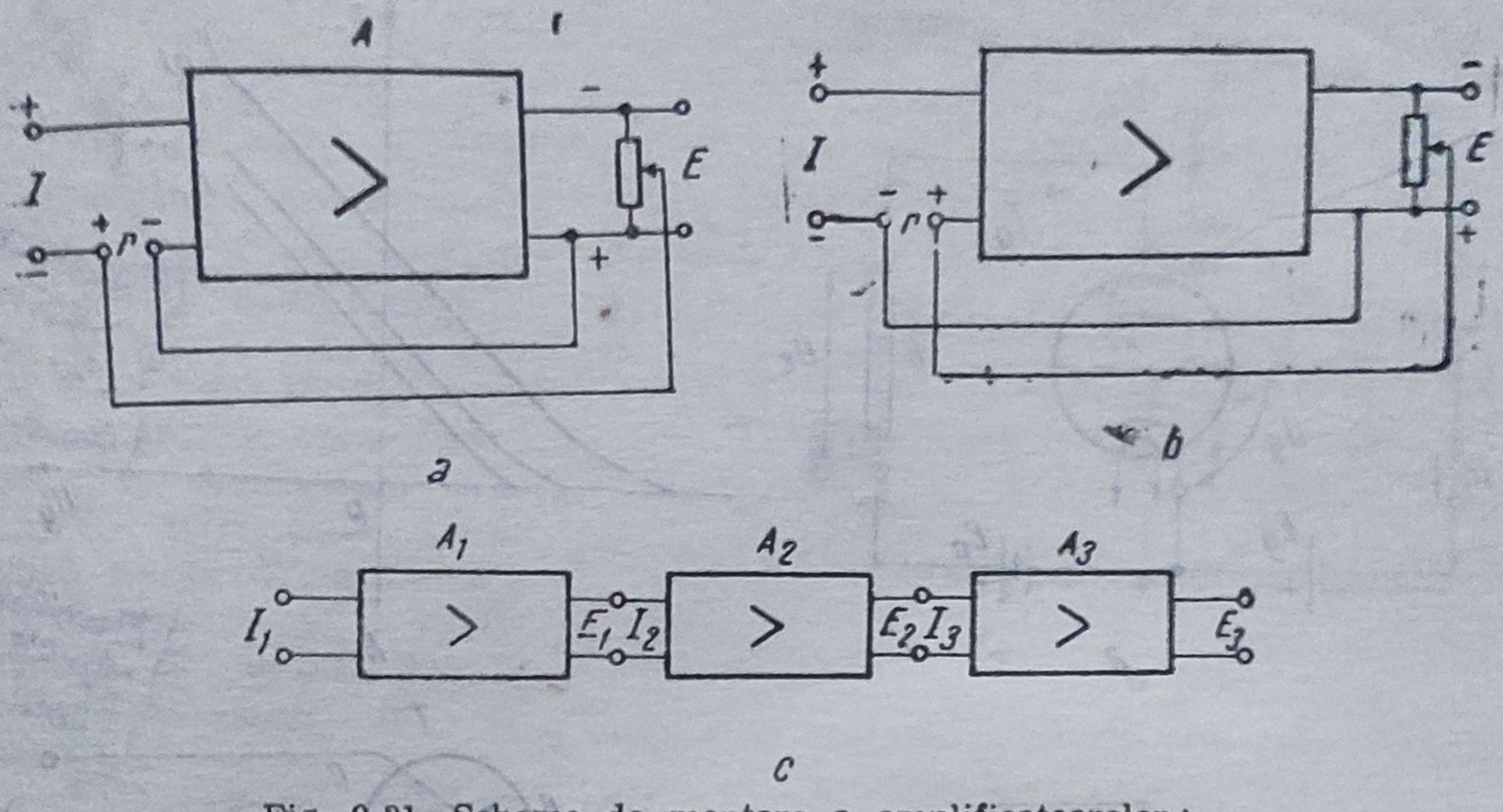


Fig. 9-21. Scheme de montare a amplificatoarelor :
a — cu reacție pozitivă ; b — cu reacție negativă ; c — schema de montare în cascadă.

● **Clasificare.** Amplificatoarele se clasifică după natura mărimilor fizice care se amplifică :

— *amplificatoare de mărimi electrice* (electrotehnice, magnetice) ;

— *amplificatoare de mărimi neelectrice* (hidraulice, mecanice, pneumatice).

b. Amplificatoare electronice

Amplificatoarele electronice folosesc tuburi electronice cu vid, tuburi electronice cu gaz sau dispozitive semiconductoare, tranzistoare.

● În figura 9-22, *a* este prezentată schema unui **amplificator electronic cu o triodă** (tub cu vid cu trei electrozi) folosit în curentul continuu, iar în figura 9-22, *b*, caracteristica sa statică de funcționare.

Această caracteristică arată dependența dintre valoarea curentului anodic I_a și valoarea tensiunii de grilă U_g ($U_g = U_i - E_g$).

Tensiunile electromotoare E_e și E_g au o valoare constantă și determină regimul static de funcționare al amplificatorului cînd tensiunea U_i aplicată la intrare este nulă.

Tensiunea E_a reprezintă sursa de energie electrică cu ajutorul căreia se realizează amplificarea.

Amplificarea obținută cu etajul din figura 9-22, *a* este dată de expresia :

$$K = \frac{\mu R}{R_i + R},$$

unde :

U este coeficientul de amplificare al triodei ;
R_i — rezistența internă a triodei ;
R — rezistența de sarcină.

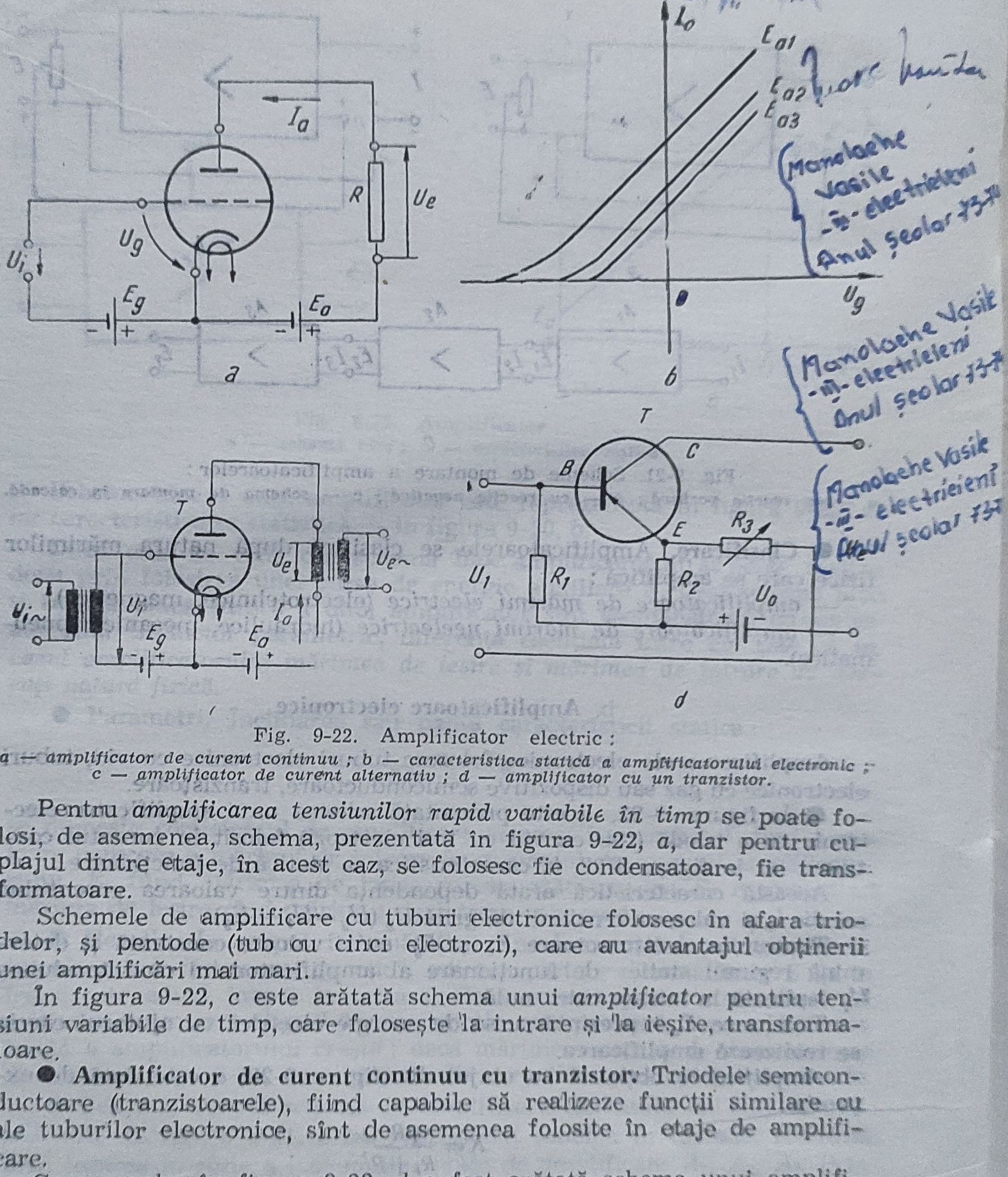


Fig. 9-22. Amplificator electric :

a — amplificator de curent continuu ; b — caracteristica statică a amplificatorului electronic ; c — amplificator de curent alternativ ; d — amplificator cu un tranzistor.

Pentru *amplificarea tensiunilor rapid variabile în timp* se poate folosi, de asemenea, schema, prezentată în figura 9-22, *a*, dar pentru cuplajul dintre etaje, în acest caz, se folosesc fie condensatoare, fie transformatoare.

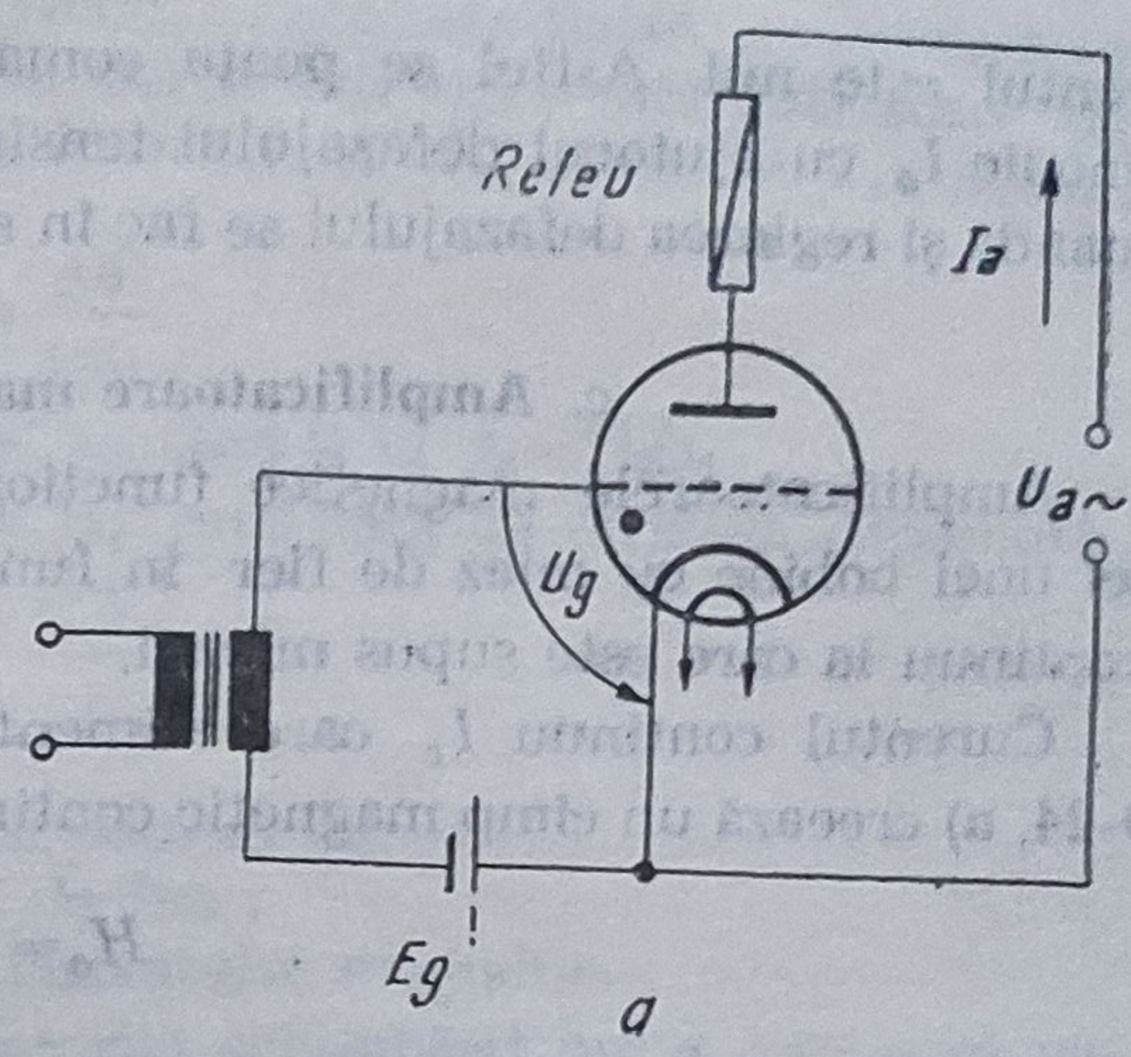
Schemele de amplificare cu tuburi electronice folosesc în afara triodelor, și pentode (tub cu cinci electrozi), care au avantajul obținerii unei amplificări mai mari.

În figura 9-22, *c* este arătată schema unui *amplificator* pentru tensiuni variabile de timp, care folosește la intrare și la ieșire, transformatoare.

● **Amplificator de curent continuu cu tranzistor.** Triodele semiconductoare (tranzistoarele), fiind capabile să realizeze funcții similare cu ale tuburilor electronice, sînt de asemenea folosite în etaje de amplificare.

Ca exemplu, în figura 9-22, *d* a fost arătată schema unui amplificator de curent continuu folosind un tranzistor *T*. Tensiunea de intrare U_i se aplică între un electrod numit bază *B* și altul numit emitor *E*, iar tensiunea de ieșire U_e se obține între cel de al treilea electrod, numit colector, *C*, și emitor.

Din această cauză *montajul* se numește *cu emitor comun*. Deoarece la variații de temperatură tranzistorul își modifică caracteristica sa de funcționare, în schema amplificatorului se prevăd rezistențe variabile cu temperatura (termistoare), care corectează funcționarea acestuia. În acest mod, chiar dacă temperatura variază în limitele 0—45°C, coeficientul de amplificare al amplificatorului nu se modifică.



• În sistemele automate au o largă utilizare **amplificatoarele cu tuburi cu gaz** (triode sau tetrode umplute cu un gaz inert). Triodele cu gaz se mai numesc *tiratroane* și în cazul lor, spre deosebire de tuburile cu vid, tensiunea de grilă nu are decît rolul de „aprindere" a tubului, adică de a declanșa trecerea prin tub a unui curent anodic de o valoare mare. După ce s-a produs „aprinderea" tubului, curentul anodic nu mai depinde de valoarea tensiunii de grilă, ci numai de valoarea tensiunii anodice. Anularea curentului anodic („stingerea" tubului) are loc prin anularea sau inversarea sensului tensiunii anodice.

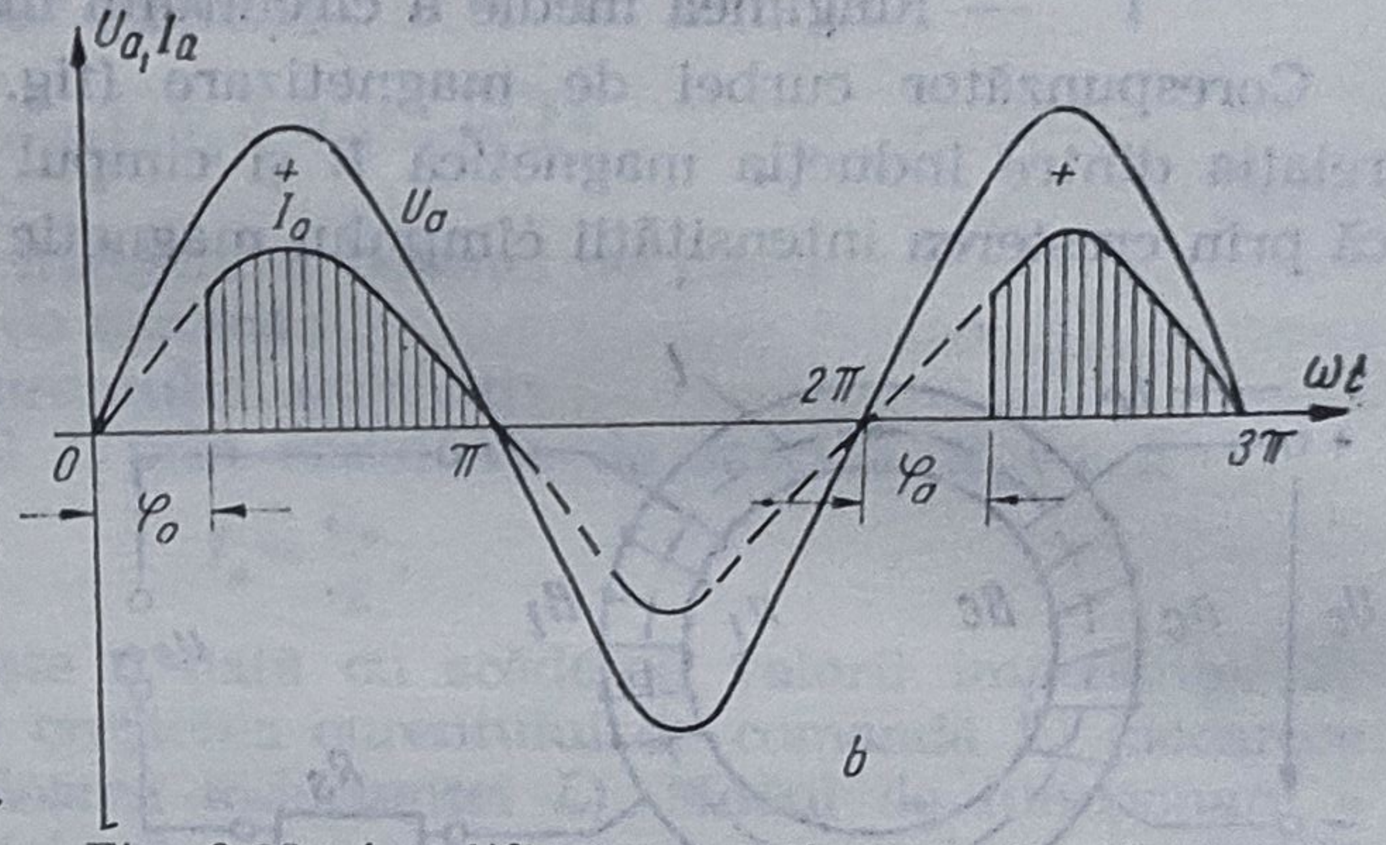


Fig. 9-23. Amplificator cu tiratron (*a*) și variația în timp a mărimilor unui amplificator cu tiraron (*b*).

În figura 9-23, *a* se arată un amplificator cu un tiratron care folosește ca tensiune anodică o tensiune alternativă. Tensiunea de comandă pe grilă U_g este tot o tensiune alternativă, de aceeași frecvență cu tensiunea anodică U_a dar avînd un anumit defazaj φ față de aceasta. La o anumită amplitudine a tensiunilor U_a și U_g, momentul cînd are loc aprinderea tubului φ_a și durata cît trece curentul anodic prin tub sînt determinate de defazajul φ. În figura 9-23, *b* se arată forma de variație în timp, a tensiunii anodice U_a precum și forma de variație în timp a curentului anodic. Se observă că variația în timp a curentului anodic este pulsatoriu. Valoarea medie a curentului anodic este proporțională cu suprafața hașurată (corespunzătoare numai semialternanțelor pozitive ale tensiunii anodice) și depinde deci de defazajul φ_a. Cînd defazajul φ_a este zero, curentul este maxim, iar cînd φ_a este egal cu π, cu-

rentul cate nul. Astfel se poate comanda valoarea medie a curentului anodic I_a cu ajutorul defazajului tensiunii U_g față de tensiunea U_a. Comanda și reglarea defazajului se fac în scheme speciale.

c. Amplificatoare magnetice

Amplificatoarele magnetice funcționează pe baza variației inductanței unei bobine cu miez de fier în funcție de premagnetizarea de curent continuu la care este supus miezul.

Curentul continuu I_c care alimentează bobina de comandă B_c (fig. 9-24, *a*) creează un cîmp magnetic continuu H_c:

$$H_c = \frac{n_c I_c}{l}.$$

în care : n_c este numărul de spire al bobinei B_c;

l — lungimea medie a circuitului magnetic.

Corespunzător curbei de magnetizare (fig. 9-24, *b*) care ilustrează relația dintre inducția magnetică B și cîmpul magnetic H_c, se observă că prin creșterea intensității cîmpului magnetic H_c se ajunge la saturația

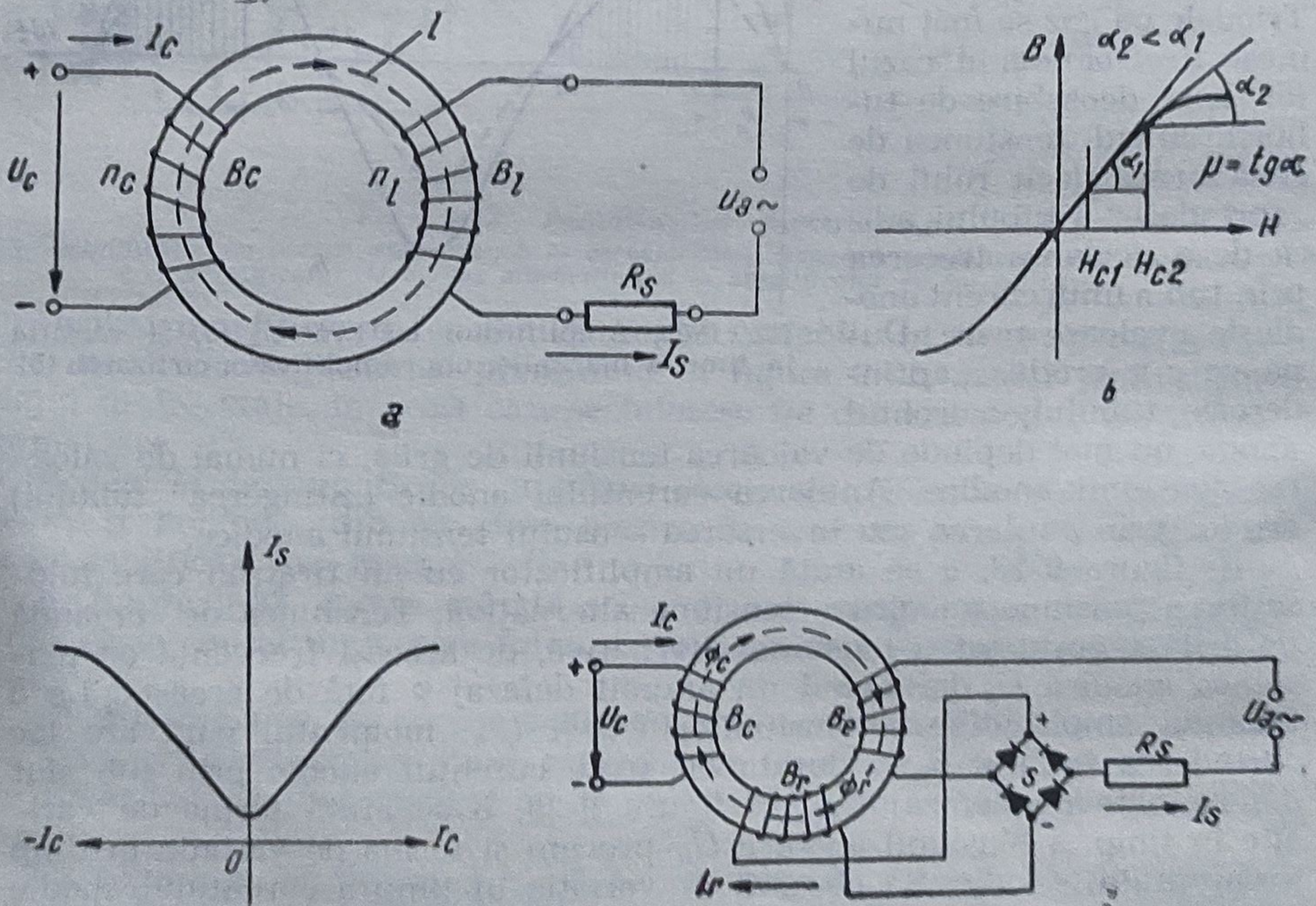


Fig. 9-24. Amplificator magnetic :

a — principiul de funcționare ; b — caracteristica de magnetizare ; c — caracteristica statică ; d — amplificator magnetic cu reacție.

magnetică a materialului feromagnetic. Permeabilitatea magnetică μ (proporțională cu panta tangentei la curbă într-un punct dat) scade pe măsura apropierii de saturație, deci atunci cînd H_c, respectiv I_c, crește; ea este dată de relația :

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta Hc}.$$

Se observă pe figura 9-24, *b* că $\alpha_2 < \alpha_1$, deci și $\text{tg}\ \alpha_2 < \text{tg}\alpha_1$.

Inductanța L a bobinei de lucru B_l este dată de formula cunoscută :

$$L = \frac{n_l^2 S}{l} \mu,$$

în care :

n_l este numărul de spire al bobinei B_l;
S — secțiunea miezului de fier ;
l — lungimea medie a circuitului magnetic.

Variația valorii inductanței L datorită schimbării lui μ provoacă variația impedanței bobinei de lucru și, o dată cu aceasta, a impedanței totale a circuitului de curent alternativ :

$$Z = \sqrt{(R_l + R_s)^2 + \omega^2 L^2},$$

unde :

R_l este rezistența înfășurării bobinei de lucru ;
R_s — rezistența de sarcină ;
ω — pulsația curentului alternativ ;

In consecință, curentul I_s prin rezistența de sarcină R_s va fi :

$$I_s = \frac{U_a}{Z},$$

adică valoarea sa va crește o dată cu scăderea valorii impedanței Z, ceea ce are loc o dată cu creșterea curentului de comandă I_c (deoarece scade μ și deci scade valoarea inductanței L). Modul de funcționare a schemei este astfel stabilit încît cu ajutorul unor curenți I_c de comandă reduși să se comande valori mari ale curenților de sarcină, deci să se realizeze un coeficient mare de amplificare.

Caracteristica statică $I_c = f(I_c)$ a amplificatorului este reprezentată în figura 9-24, *c*. Se observă că ea este simetrică față de axa ordonatelor.

În figura 9-24, *d* este arătată schema unui **amplificator magnetic „cu reacție".** Aceasta cuprinde o bobină de reacție B, străbătută de un curent continuu dat de redresorul S din circuitul „de ieșire". Dacă fluxul magnetic Φ_r creat de bobina de reacție se adună cu fluxul Φ_c produs de bobina de comandă, se realizează o reacție pozitivă. În acest caz, variațiile valorii cîmpului de magnetizare a miezului, determinate de o variație a curentului de comandă cresc, și deci coeficientul de amplificare al amplificatorului crește.

Dacă fluxul de reacție se scade din fluxul de comandă (ceea ce, în cazul din figura 9-24, *d* se poate obține prin inversarea sensului curentului de comandă I_c), reacția devine negativă, ceea ce are ca urmare scăderea coeficientului de amplificare al amplificatorului.

4. STABILIZATOARE

a. Stabilizarea

O condiție necesară în buna funcționare a sistemelor automate o constituie menținerea la o valoare cît mai constantă a tensiunii electrice de alimentare a elementelor electrice sau electronice. Astfel, de exemplu, forma caracteristicii statice a unui amplificator electronic depinde de tensiunea de alimentare și numai pentru o anumită valoare a acestei tensiuni se obține o caracteristică dorită.

Tensiunea de alimentare (de la rețea) variază datorită variației consumului de energie electrică în rețea. Astfel, cînd consumul crește, cresc și căderile de tensiune în rețea și deci tensiunea primită de consumator (elementul electric sau electronic) scade.

Menținerea constantă a tensiunii la bornele unui receptor poartă numele de *stabilizare*, iar elementele care realizează acest lucru se numesc *stabilizatoare*.

Stabilizatoarele se construiesc pentru o anumită putere și o anumită „zonă de stabilizare". De exemplu, un stabilizator de tensiune are la ieșire o tensiune constantă de 220 V pentru o sarcină de 150 W și pentru o tensiune la intrare cuprinsă între 180 V și 250 V.

În schema electrică din figura 9-25, *a* stabilizatorului *S* care alimentează receptorul *R* asigură menținerea constantă a tensiunii U_e atît în cazul variației tensiunii U_i a rețelei, cît și în cazul variației rezistenței de sarcină *R*.

b. Tipuri de stabilizatoare

● **După principiul constructiv adoptat,** stabilizatoarele se împart în următoarele tipuri : *cu rezistență neliniară* (cu tub cu descărcare luminescentă, cu termorezistență), *electromecanice*, *feromagnetice*, *ferorezonante*, *electronice* etc.

● **După principiul de funcționare** ele pot fi *pentru curent continuu* sau *pentru curent alternativ*.

● Dintre **stabilizatoarele de tensiune cu rezistență neliniară** face parte *stabilivoltul* (fig. 9-25, b). Acesta este format dintr-un tub *S* cu descărcare în gaze, la care fenomenul de aprindere (de începere a des-

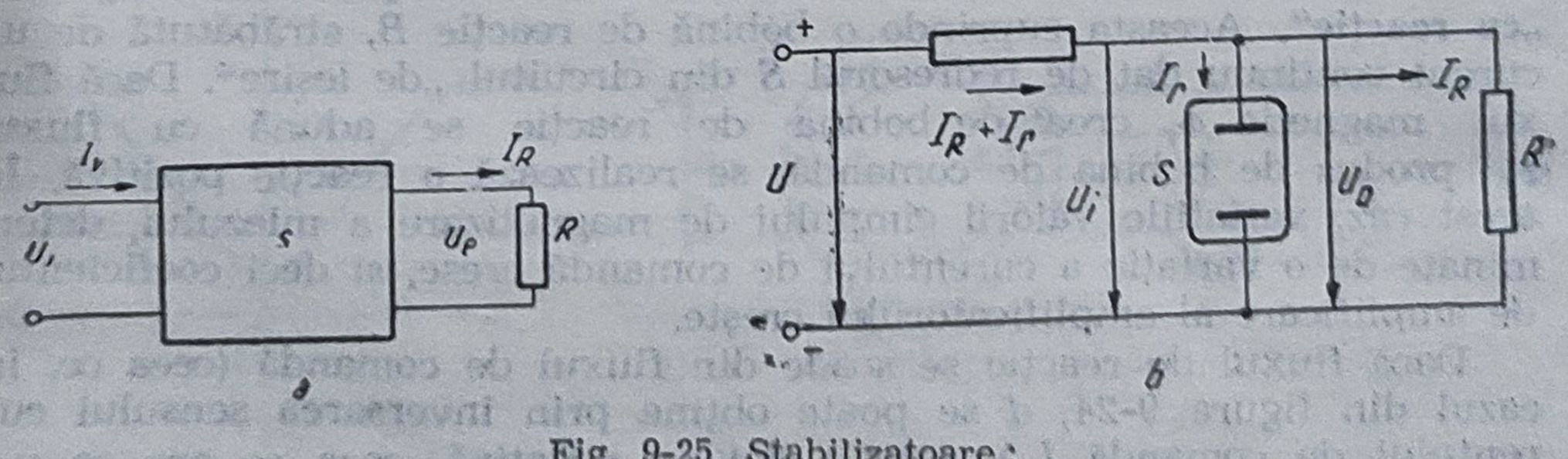


Fig. 9-25. Stabilizatoare :
a — schema bloc ; b — stabilizator de tensiune cu tub cu gaz ; c — caracteristica tensiune-curent ; d — baretor.

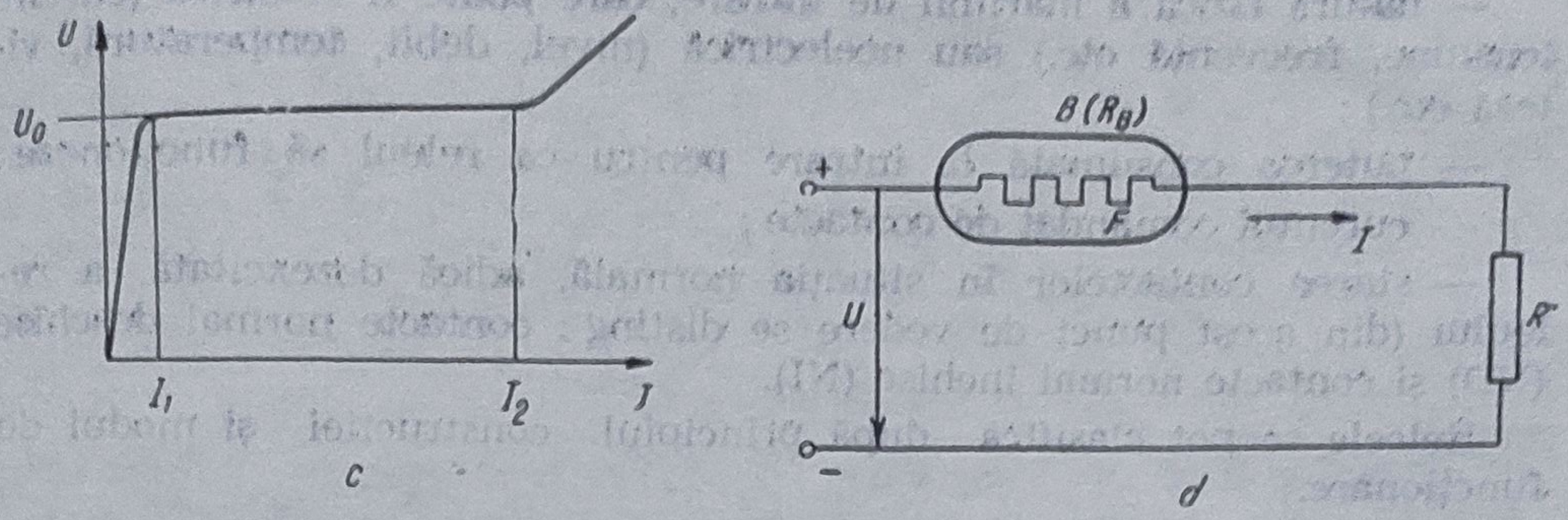


Fig. 9-25. c, d

cărcării luminescente) apare la tensiunea U_0. Cînd tensiunea de alimentare U crește, curentul prin rezistența R și prin tub crește; punctul de funcționare se deplasează spre dreapta pe caracteristica din figura 9-25, c, dar tensiunea la bornele sale rămîne constantă. Creșterea tensiunii U de intrare este preluată practic integral de rezistența R (datorită modificării curentului care o parcurge). Asemănător se petrec lucrurile și la scăderea tensiunii de intrare.

Stabilizatoare de curent. *Baretorul* (fig. 9-25, *d)* este un stabilizator de curent cu termorezistență, format dintr-un filament F de fier (sau wolfram) fixat în interiorul unui balon de sticlă B umplut cu hidrogen. Tubul are o rezistență R_B variabilă cu temperatura.

Cînd tensiunea U crește, curentul I absorbit de receptorul R, dat de relația

$$I = \frac{U}{R_B + R},$$

ar tinde să crească; filamentul baretorului (care este legat în serie) se încălzește și în consecință valoarea rezistenței sale R_B crește, ceea ce are ca efect reducerea curentului absorbit, la valoarea de stabillizare.

6. RELEE

a. Principiul de funcționare

Spre deosebire de traductoare și amplificatoare, la care mărimea de ieșire are o variație continuă în funcție de mărimea de intrare, releele sînt elemente de automatizare la care *mărimea de ieșire I_e variază brusc (în salt) atunci cînd mărimea de intrare I ajunge la o anumită valoare prescrisă I_e*, numită *valoare de excitare.*

La scăderea mărimii de intrare sub o valoare I_r, numită *valoare de revenire*, care este mai mică decît valoarea de excitare, are loc saltul invers al mărimii de ieșire, la *valoarea de repaus.*

Raportul între valoarea de revenire I_r și cea de excitare I_e poartă numele de *coeficient de revenire* (K_r).

Factorii care caracterizează releele sînt următorii:

— natura fizică a mărimii de intrare, care poate fi electrică (curent, tensiune, frecvență etc.) sau neelectrică (nivel, debit, temperatură, viteză etc.);

— puterea consumată la intrare pentru ca releul să funcționeze;

— curentul comandat de contacte;

— starea contactelor în situația normală, adică dezexcitată, a releului (din acest punct de vedere se disting: contacte normal deschise (ND) și contacte normal închise (NI).

Releele se pot clasifica după principiul construcției și modul de funcționare.

b. **Relee electromagnetice**

Pentru exemplificare, în figura 9-26, *a* este arătat schematic un releu electromagnetic format dintr-o armătură fixă de oțel *A*, o armătură mobilă de oțel *M* care poate oscila în jurul punctului *C* și o bobină *B* parcursă de curentul *i*.

Cînd curentul *i* crește (sistemul magnetic funcționează ca un electromagnet), armătura *M* este atrasă, însă resortul *R* se opune la deplasarea acesteia. Cînd curentul *i* atinge valoarea de excitație I_e (de exemplu $i_e = 10$ A), forța resortului este învinsă și armătura *M* deplasîndu-se închide brusc contactul C_1 și deschide contactul C_2. În acest moment se obține la ieșire tensiunea *e*. La scăderea curentului *i*, armătura *M* se desprinde la o valoare $I_r < I_e$ (de exemplu $I_r = 8$ A) și, deschizînd contactul C_1 închide contactul C_2, revenind astfel în poziția inițială.

Contacul C_1 se numește contact normal deschis, iar C_2 — normal închis. Factorul de revenire este $K_r = \frac{I_r}{I_e}$ $\left(\text{în exemplu, } K_r = \frac{8A}{10A} = 0{,}8\right)$.

Caracteristica de funcționare este indicată în figura 9-26, *b*. Se observă salturile mărimii de eșire *e* la creșterea mărimii de intrare *i* peste valoarea I_e și la scăderea ei sub valoarea I_r.

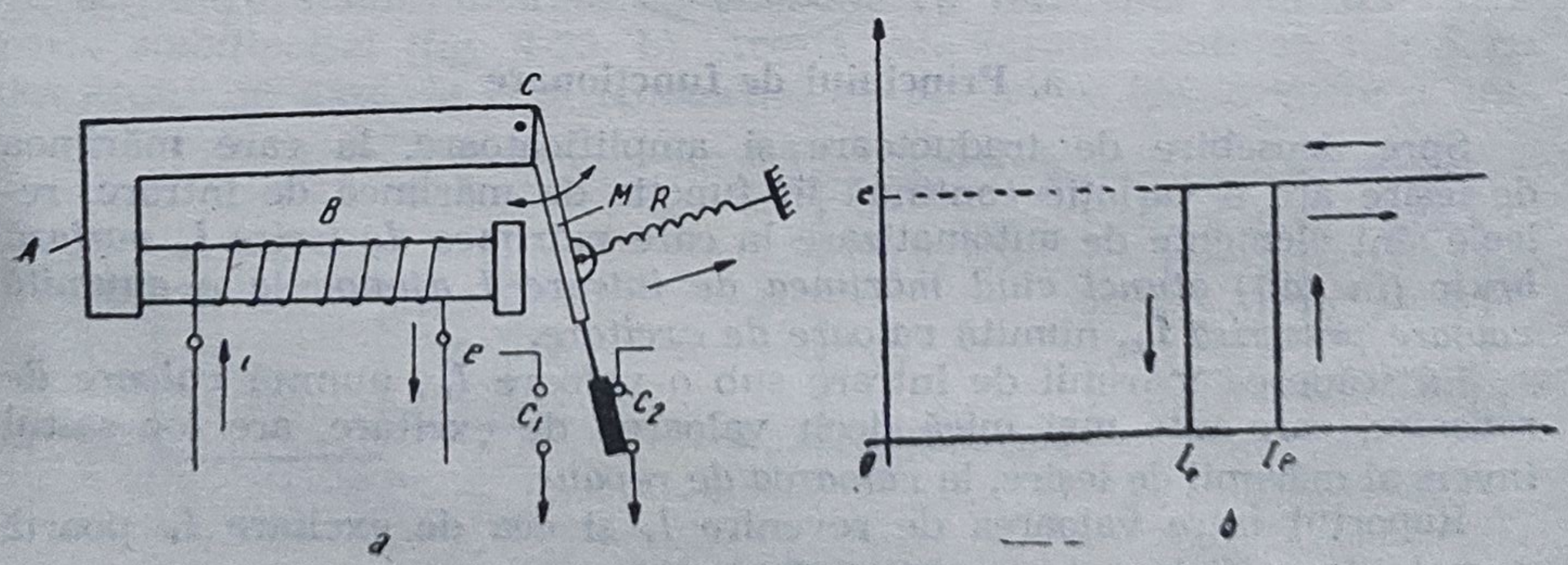


Fig. 9-26. Releu electromagnetic:
a — principiul de funcționare; b — caracteristica statică.

La releul electromagnetic descris, armătura fixă atrage armătura mobilă *M* pentru oricare sens (pozitiv sau negativ) al curentului de excitaţie care străbate bobina şi din această cauză se numeşte *releu electromagnetic neutru.*

Releul polarizat este tot un releu electromagnetic, care însă reacţionează diferit cînd curentul de excitaţie îşi schimbă sensul.

c. Relee electronice

Folosirea aparatelor electronice şi ionice în automatică permite, pe lîngă îmbunătăţirea proceselor de producţie, şi un control rapid şi precis al producţiei.

Releele electronice au marele avantaj — în comparaţie cu cele electromagnetice — că sînt lipsite de inerţie şi că au sensibilitate mare. Aparatele electronice sînt sensibile la variaţii ale intensităţii curentului de ordinul milionimilor de amperi şi pot comanda în acelaşi timp mecanisme cu puteri de sute şi chiar mii de kW.

Variind potenţialul grilei în raport cu catodul, se poate regla cantitatea de electroni care circulă de la catodul încălzit spre anod.

În circuitul de comandă (al grilei) în tuburile moderne este suficient un curent de numai cîteva milionimi de amperi. În acelaşi timp, curentul din circuitul anodic al acestui tub în care este conectată sarcina (un releu electromagnetic) ajunge la valori de zeci de mii de ori mai mari, adică pînă la 10—15 mA.

Chiar şi numai combinarea simplă (fig. 9-27) a unui releu electronic (tub amplificator) cu un releu electromagnetic aduce mari avantaje. Avantajele releului electronic derivă şi din faptul că necesită o presiune pe contact de numai cîteva miligrame, deoarece prin circuit trec curenţi reduşi.

Releul electronic poate fi alimentat şi de la o reţea de curent alternativ, prin intermediul unui transformator (fig. 9-28).

În schema din figura 9-28, *a* se arată prin semnele (±) şi (∓) că bobinajele transformatorului care alimentează circuitul anodic şi circuitul

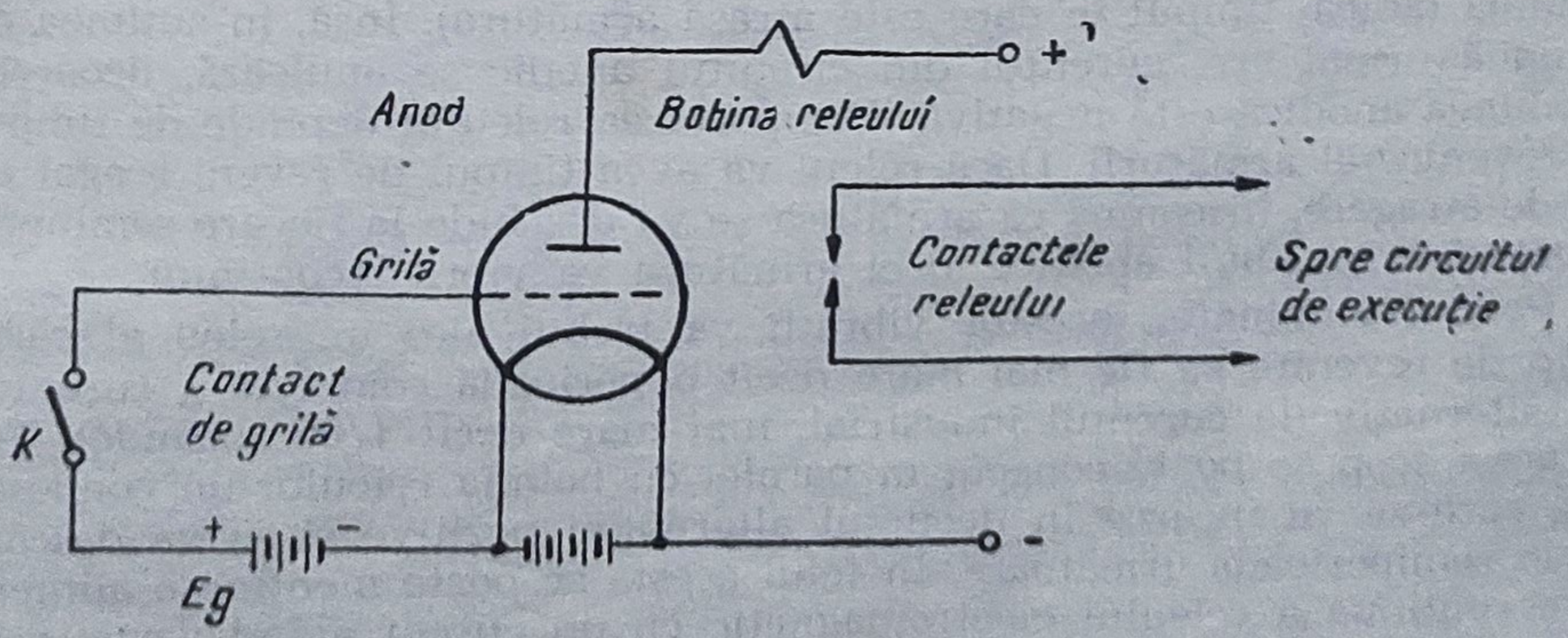


Fig. 9-27. Schema unui releu electronic de curent continuu.

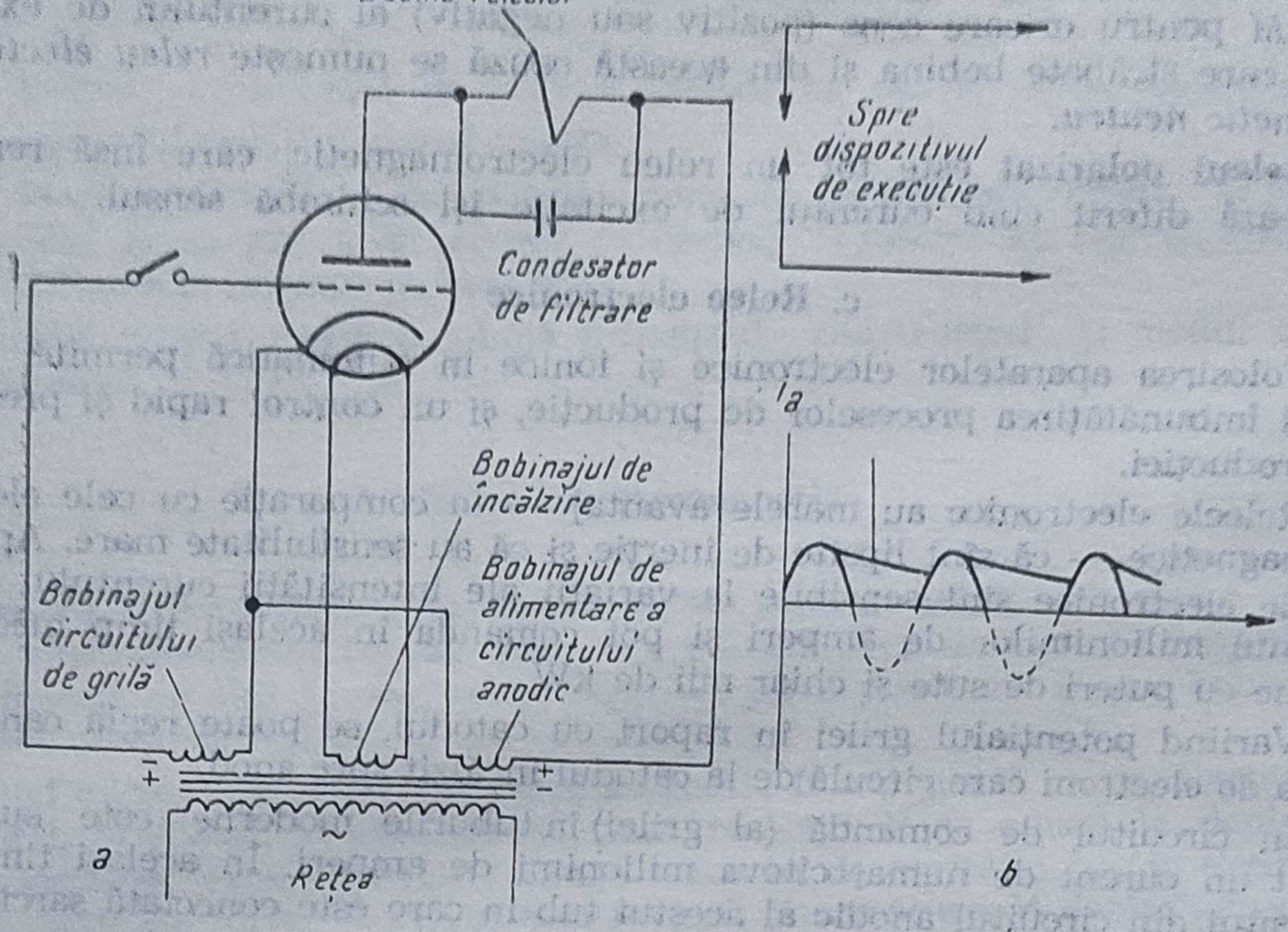


Fig. 9-28. Schema unui releu electronic de curent alternativ.

de grilă sînt astfel conectate încît atunci cînd apare la anod potențialul pozitiv, la grilă potențialul să fie negativ, și invers. Se analizează următoarele două situații : cu contactele din circuitul de grilă închise și cu contactele din circuitul de grilă deschise.

● **Contactele din circuitul de grilă deschise.** În acest caz, potențialul grilei este în permanență zero și prin tub trece o semiundă pozitivă a curentului alternativ, care acționează asupra releului electromagnetic din circuitul anodic.

De obicei, timpul de acționare al acestor relee este sub o sutime de secundă (adică, timpul în care este atrasă armătura). Însă, în sutimea de secundă următoare, curentul din circuitul anodic se anulează, deoarece tensiunea anodică este negativă. Comportarea releului depinde de timpul de revenire al armăturii. Dacă releul va avea timpul de revenire egal cu cel de atragere, înseamnă că armătura se va deschide la fiecare semiundă negativă a tensiunii anodice, deci armătura va vibra încontinuu.

Pentru eliminarea acestor vibrații va trebui ales un releu al cărui timp de revenire să fie mai mare decît o perioadă completă a curentului alternativ (la curentul industrial, mai mare decît 1/50 secunde). Tot în acest scop se poate conecta în paralel cu bobina releului un condesator, care se va încărca în decursul alternației pozitive și se va descărca în semiperioada următoare. În felul acesta se poate menține o alimentare continuă a releului electromagnetic cu un curent avînd variația în timp indicată în figura 9-28, *b*.

● **Contactele din circuitul de grilă închise.** În cazul acesta, cînd anodul este pozitiv, grila are potențial negativ și tubul se va bloca. Curentul anodic întrerupîndu-se, releul electromagnetic își va elibera armătura.

Se vede că rapiditatea de acționare a releului electronic este foarte mult limitată de timpul de acționare a releului electromagnetic conectat în circuitul anodic al tubului. Deoarece curentul anodic al tuburilor electronice este mic și nu poate pune direct în funcțiune mecanisme mai puternice, nu se poate renunța la releul electromagnetic ca element intermediar în circuitul tubului electronic.

d. **Relee ionice**

Un exemplu de releu ionic este *tiratronul*. Tiratronul este o triodă cu gaz (fig. 9-29, *a*). Aplicînd grilei un potențial U_g negativ față de catod și suficient de mare, electronii emiși de filamentul incandescent al tiratronului sînt respinși de grilă. În acest caz, curentul anodic al tiratronului este egal cu zero, după cum se vede în caracteristica indicată în figura 9-29 *b*. Pentru comparație, este prezentată înt figură și caracteristica unei triode obișnuite.

Se presupune că tensiunea anodică U_a este continuă și că, inițial, grila are potențialul U_g = —5V. Pentru acest potențial, curentul anodic I_a este nul. Crescînd ușor potențialul U_g, va începe să crească și curentul I_a. Această creștere la început este foarte lentă ; practic, curentul anodic crește după o curbă *2* identică cu a triodei (curba *1*), acest lucru explicîndu-se prin faptul că grila nu permite accelerarea electronilor în măsură suficientă pentru producerea ionizării. Cînd potențialul grilei capătă o anumită valoare, notată pe figură cu U_{ga} (U_{ga} = —2V, în exemplul ales), ionizarea devine posibilă, ceea ce face ca curentul anodic să crească brusc (de aproximativ 10^6 ori, curba *2*), luînd aspectul de arc electric și ajungînd la valoarea sa de saturație.

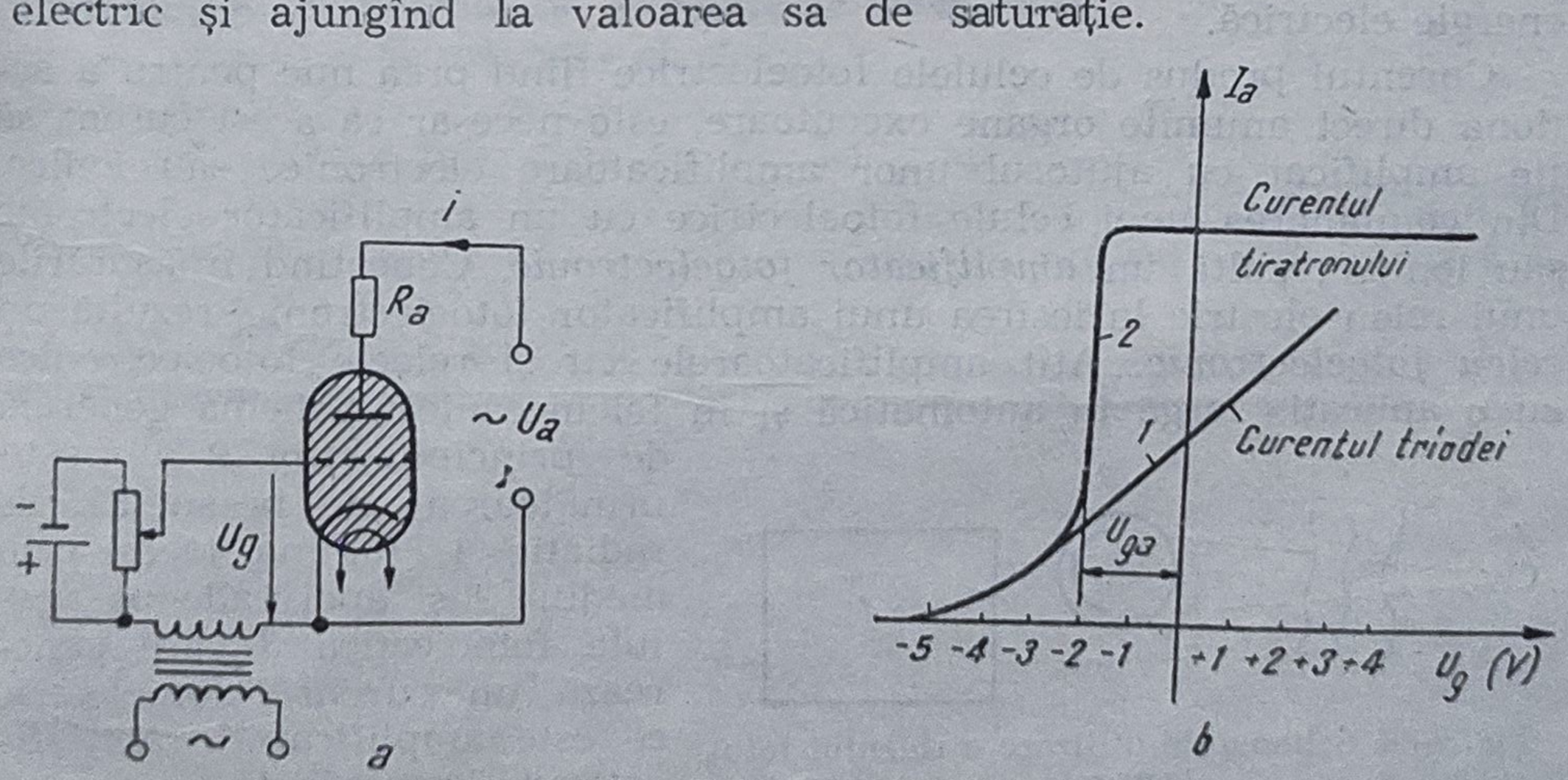


Fig. 9-29. Releu tiratronic :
a — schema de conexiune ; b — caracteristica de grilă.

După aprinderea arcului, potențialul U_g aplicat grilei nu mai are nici o influență asupra valorii curentului anodic I_a care rămîne constant, atît pentru $U_g > U_{ga}$, cît și pentru $U_g < U_{ga}$ (prelungirea punctată spre stînga curbei curentului). Așadar, grila unui tiratron aprins își pierde acțiunea sa de comandă.

Cînd tiratronul este folosit la un releu, trebuie avut în vedere că după aprinderea tiratronului acțiunea de comandă a grilei se întrerupe. Din această cauză, cînd grila și anodul sînt alimentate cu o tensiune continuă, tiratronul nu poate servi decît ca releu cu acțiune simplă — adică numai pentru închiderea releului. Pentru ca releul cu tiratron să poată „reveni", trebuie să se deschidă circuitul anodic. Grila va intra din nou în funcțiune numai dacă arcul va fi stins, prin anularea tensiunii anodice U_a.

În cazul că tensiunea U_a este alternativă, această anulare a tensiunii U_a se produce în mod automat de două ori pe perioadă, deci curentul se stinge de la sine după fiecare aprindere. În felul acesta, grila este capabilă să influențeze funcționarea tiratronului la fiecare început de semiperioadă.

Tiratronul poate acționa ca releu, prin aplicarea pe grila sa a unei tensiuni continue sau alternative sau — simultan — și a uneia și a celeilalte.

Pentru comanda tiratronului sînt suficienți curenții de ordinul unei milionimi de amper. La circuitul anodic al tiratronului pot fi conectate direct motoare electrice, lămpi de semnalizare, sonerii electrice și electromagneți de forță, care consumă un curent de aproximativ 1 A.

Acest releu are un factor de revenire K_r egal cu unitatea, adică aprinderea tiratronului și întreruperea aprinderii lui au loc la aceeași valoare a tensiunii de grilă.

e. Relee fotoelectronice

S-a văzut că celulele fotoelectrice transformă energia luminoasă în energie electrică.

Curentul produs de celulele fotoelectrice fiind prea mic pentru a acționa direct anumite organe executoare, este necesar ca acest curent să fie amplificat cu ajutorul unor amplificatoare electronice sau ionice. Din combinarea unei celule fotoelectrice cu un amplificator electronic sau ionic, rezultă un *amplificator fotoelectronic*. Conectînd înfășurările unui releu electric la ieșirea unui amplificator fotoelectronic, rezultă un *releu fotoelectronic*. Atît amplificatoarele cît și releele fotoelectronice au o aplicație largă în automatică și în telemecanică. Schema generală de principiu (fig. 9-30) este următoarea: de la sursa de radiație 1, lumina trece prin mediul 2 și apoi cade pe celula fotoelectică 3 care generează un curent fotoelectric ce este amplificat de amplificatorul electronic 4.

Fig. 9-30. Schema de utilizare a releului fotoelectronic.

Schemele fotoelectronice se folosesc în două variante :

— capacitatea de trecere a mediului 2 este constantă, iar fluxul luminos al radiatorului *1* variază ;

— fluxul luminos al radiatorului *1* este constant, iar capacitatea de trecere a mediului variază.

Primul principiu se aplică la fotometrele automate, la pirometrele optice, la spectroscoape etc. Al doilea principiu se aplică la controlul deplasărilor și al diametrelor orificiilor (prin variația lină a secțiunii razei incidente), la controlul gradului de tulburare sau de colorare a unui lchid, la controlul densității fumului, la controlul umidității după punctul de rouă (prin variația transparenței sau a capacității de reflectare a mediului) etc. Un avantaj al acestui fel de folosire a montajului fotoelectronic îl constituie posibilitatea controlării celor mai multe mărimi neelectrice, fără un contact mecanic cu obiectul de controlat (de la o distanță oarecare de acesta) și — în consecință — fără ca dispozitivul de măsurat să exercite vreo influență asupra mărimii de controlat.

6. ELEMENTE DE EXECUȚIE

a. Principiul de funcționare

În sistemele de comandă și reglare elementul de execuție constituie acea parte prin care dispozitivul de automatizare produce modificări asupra instalației tehnologice.

Deschiderea sau închiderea unui ventil pe o conductă, variația tensiunii de excitație a unui motor cu ajutorul unui reostat, acționarea unei clapete etc. sînt moduri prin care se poate acționa asupra proceselor din instalațiile tehnoolgice.

● **Ținînd seama de natura sursei de energie folosită la alimentarea motoarelor,** elementele de execuție *se clasifică* în :

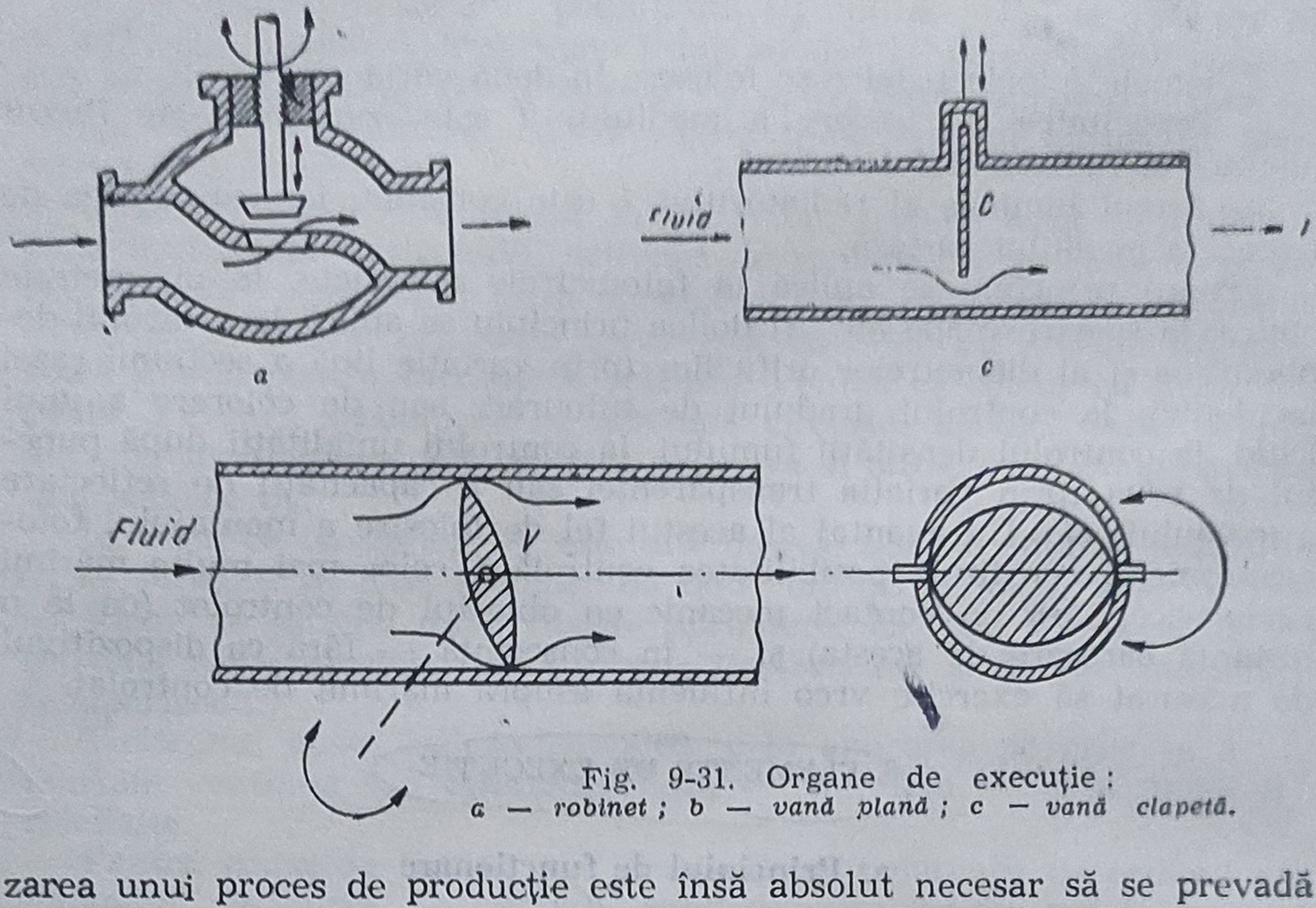
— *elemente de execuție electrice ;*
— *elemente de execuție pneumatice ;*
— *elemente de execuție hidraulice ;*
— *elemente de execuție mixte* (electrohidraulice, electropneumatice).

● **Constructiv,** elementele de execuție acționează prin următoarele feluri de mișcări :

— de rotație continuă ;
— de rotație limitată la unghiuri mai mici ca 2π ;
— de translație (deplasare).

● **Părți componente.** Un *element de execuție* este format, în general, din două părți distincte : *organul de execuție* (ventil, clapetă, reostat etc.) și *motorul de antrenare* a acestora. Din punct de vedere structural, elementele de execuție sînt strîns legate de instalația tehnologică ; cel puțin organele de execuție fac parte integrantă din instalația tehnologică.

Organele de execuție pot fi însă lipsite de motoarele de antrenare, manevrele respective efectuîndu-se manual. Pentru a realiza automati-



a c

Fig. 9-31. Organe de execuţie :
a — robinet ; b — vană plană ; c — vană clapetă.

zarea unui proces de producţie este însă absolut necesar să se prevadă elementele de execuţie complete, adică inclusiv motoarele lor de antrenare.

● **Funcţionare.** În general, elementele de execuţie au ca principiu de funcţionare fie variaţia debitului de fluid prin modificarea secţiunii de trecere, fie modificarea cantităţii de substanţă (energie) produsă de o sursă. Marea diversitate a proceselor tehnologice care se pretează la automatizare au impus o mare diversitate de elemente de execuţie.

Organele de execuţie cel mai des întîlnite sînt robinetele (fig. 9-31, *a*), vanele plane (fig. 9-31, *b*) şi clapetele (fig. 9-31, *c*).

Mişcările lor de antrenare sînt respectiv : de rotaţie continuă, de rotaţie limitată şi de translaţie.

Astfel, prin rotirea tijei *T* (fig. 9-31, *a*), aceasta deplasează în sus sau în jos supapa, mărind sau micşorînd (pînă la închiderea totală) orificiul şi permiţînd trecerea unei cantităţi mai mari sau mai mici de fluid. Efectul este asemănător şi în cazul din figura 9-31, *b*, unde prin rotirea vanei plane *V* secţiunea de trecere a fluidului variază între o valoare maximă (poziţia vanei orizontală) şi zero, închidere completă (poziţia verticală). La fel şi în figura 9-31, *c* în care secţiunea de trecere a fluidului este mărită sau micşorată prin ridicarea respectiv coborîrea clapetei *C*.

b. Elemente de execuţie electrice

Elementele de execuţie electrice se împart în două categorii de bază, şi anume : cu motor electric şi cu electromagnet.

● **Elementele de execuţie cu motor electric** folosesc motoare de curent continuu sau de curent alternativ.

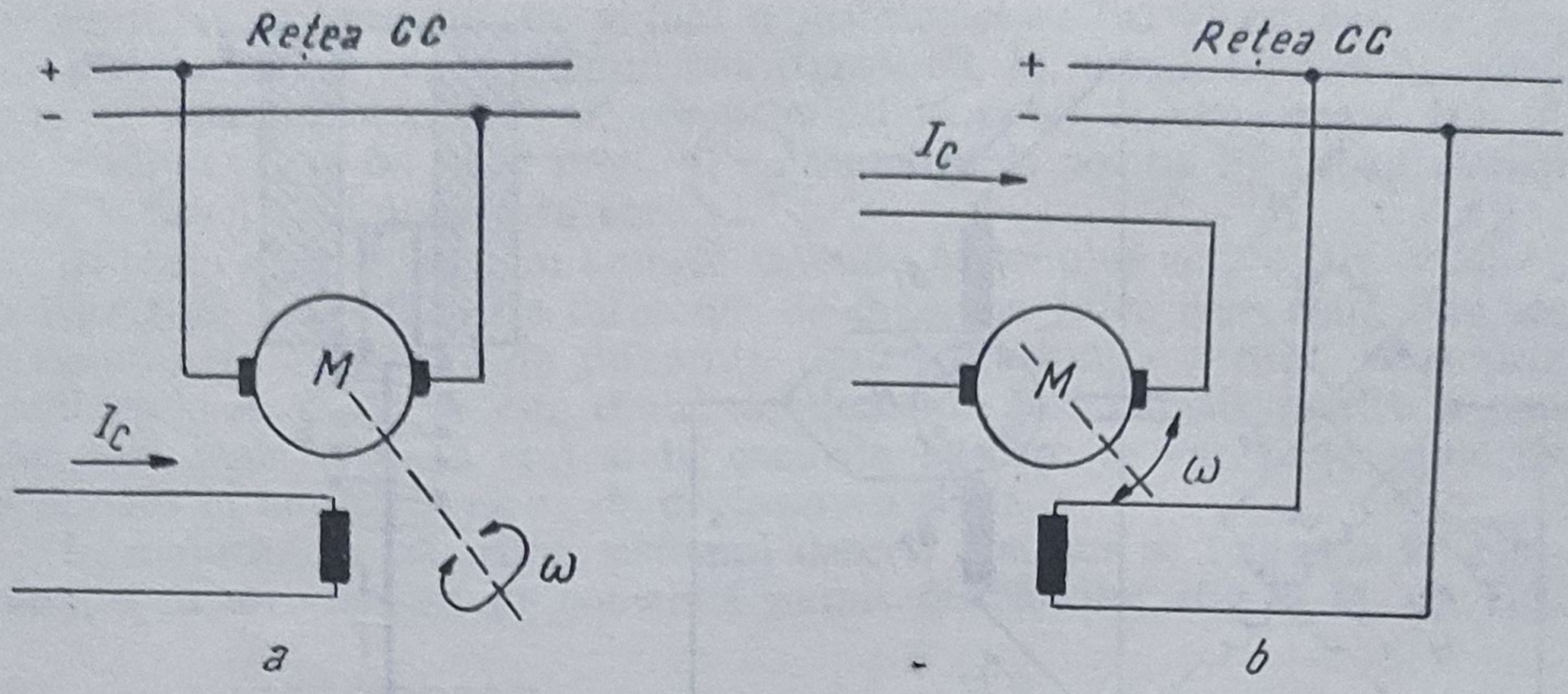


Fig. 9-32. Elemente de execuție electrice :
a — schemă de comandă a unui motor de curent continuu ; b — idem . c — schema de comandă a unui motor bifazat ; d — electromagnet.

Motoarele de curent continuu folosite sînt de obicei cele cu excitație separată ; în acest caz, semnalul de comandă I_c este aplicat fie pe înfășurarea de excitație, rotorul fiind alimentat permanent (fig. 9-32, *a*) sau invers (fig. 9-32, *b*). Se observă că în ambele cazuri viteza de rotație depinde de mărimea semnalului, iar sensul de rotație depinde de polaritatea semnalului respectiv.

În figura 9-32, *c* este reprezentată schema de comandă a unui motor asincron bifazat cu ajutorul a două bobine cu inductanță variabilă L_1, L_2.

Schema reprezintă o punte electrică de curent alternativ : în două din brațe sînt plasate bobinele B_1 și B_2 ale motorului M, iar în celelalte două, bobinele de comandă L_1 și L_2. Puntea este alimentată de la rețea cu tensiunea alternativă U într-una din diagonale, în cealaltă fiind condensatorul C.

Curenții variabili I_1 și I_2 provin de la dispozitivul de automatizare. Cînd cei doi curenți I_1 și I_2 sînt nuli sau egali între ei, impedanțele celor două bobine L_1 și L_2 sînt egale, puntea este echilibrată și deci curenții i_1 și i_2 sînt egali și în fază. Cuplul activ creat de motor este proporțional cu valorile curenților și cu valoarea $\sin\varphi$ (φ este defazajul dintre curenții i_1 și i_2) :

$$C_M = A i_1 i_2 \sin\varphi$$

și este nul cînd cei doi curenți sînt în fază.

Cînd dispozitivul de automatizare aplică un curent $I_1 \neq I_2$, de exemplu $I_1 > I_2$, bobina L_1 se magnetizează mai puternic decît bobina L_2, puntea se dezechilibrează, curenții i_1 și i_2 variază ca mărime și fază și motorul începe să se rotească într-un anumit sens. Dacă $I_1 < I_2$, bobina L_2 se va magnetiza mai puternic ca bobina L_1, defazajul φ își va schimba semnul și motorul se va roti în sens invers.

Organul de execuție primește mișcarea de la motorul electric în general prin intermediul unui reductor care micșorează viteza de rotație de circa 100—200 ori.

● **Elementele electrice de execuție cu electromagnet** sînt folosite în cazul unor comenzi cu două poziții (închis-deschis, dreapta-stînga etc.).

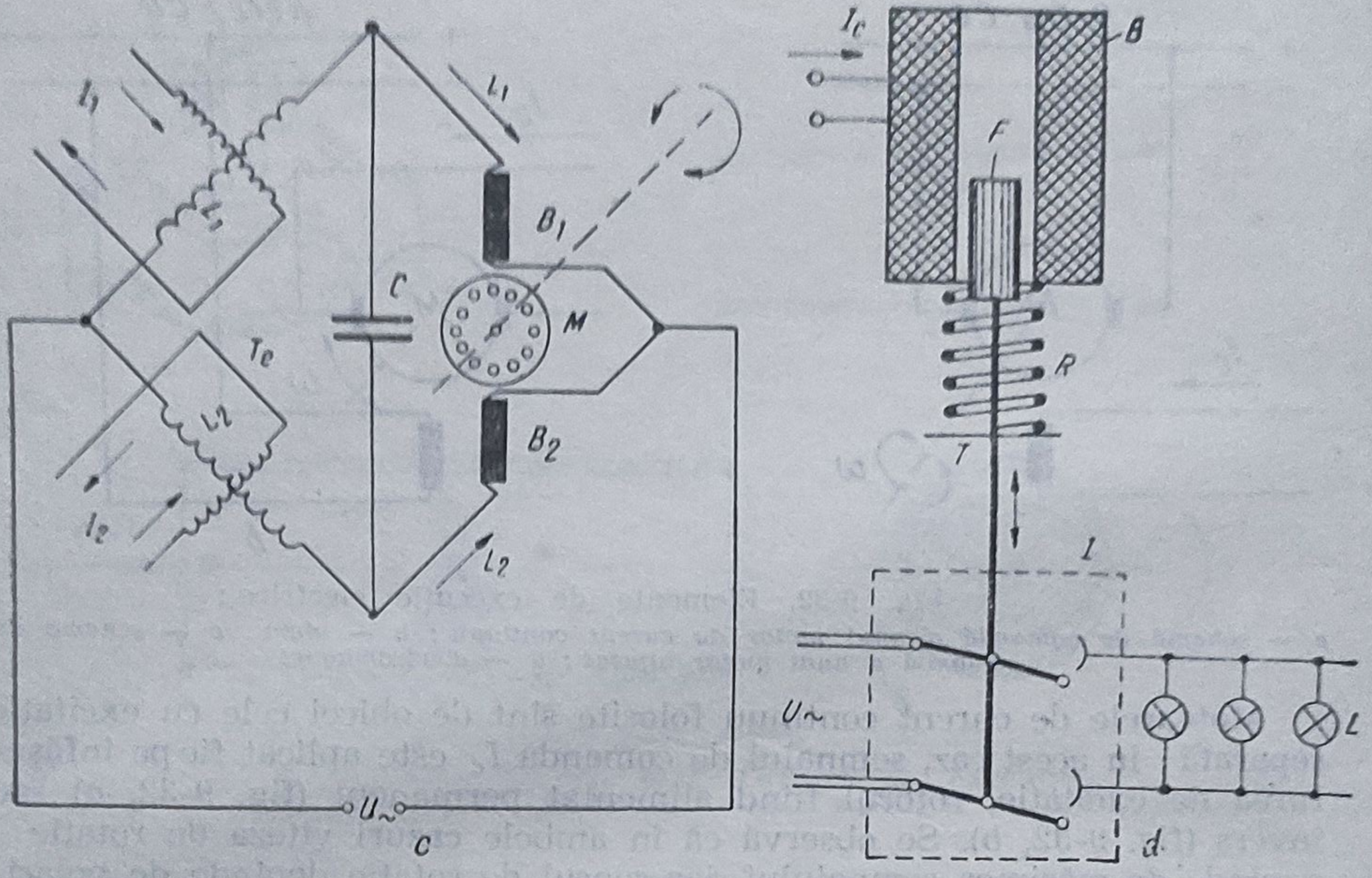


Fig. 9-32. *c*, *d*.

Principial ele sînt executate ca în figura 9-32, *d*. Cînd bobina *B* primește curentul de comandă I_c, miezul feromagnetic *F* este supus unei forțe de atracție și, învingînd forța resortului *R*, deplasează în sus tija *T*.

În acest mod, tija fiind solidară cu un întreruptor *I*, se produce închiderea unui circuit electric și se aprind lămpile *L*. La întreruperea curentului prin bobină, resortul *R* readuce tija *T* în poziția inițială, stingînd astfel lămpile *L*.

c. Elemente de execuție pneumatice

Elementele de execuție pneumatice folosesc ca sursă de energie mecanică aerul comprimat și se construiesc exclusiv pentru o mișcare de translație.

Principial sînt utilizate două tipuri de elemente de execuție pneumatice : cu membrană și cu piston.

● **Elementele de execuție cu membrană** (fig. 9-33, *a*) sînt formate dintr-o capsulă manometrică *C* prevăzută cu o membrană *M*. Sub membrană se află un disc metalic *D* solidar cu tija *T* prin care se transmite mișcarea, precum și resortul antagonist *R*. Aerul comprimat adus prin conducta *A* apasă asupra membranei și, învingînd forța resortului antagonist, deplasează tija în jos.

Se observă că tija poate ocupa orice poziție (bineînțeles între două limite), în funcție de presiunea aerului comprimat.

Presiunea aerului comprimat este de obicei cuprinsă între 0,2 și 1 atmosfere, iar cursa tijei poate fi de 1—6 centimetri.

● **Elementele de execuție cu piston** se folosesc în cazul cînd sînt necesare deplasări mai mari. Acestea sînt executate în două variante

constructive, și anume : *cu o față a pistonului activă* și *cu ambele fețe ale pistonului active*. În primul caz (fig. 9-33, *b*), aerul, intrînd în cilindrul *C*, apasă pistonul *P* și, comprimînd resortul *R*, deplasează tija *T*. Se observă că, la fel ca la motorul cu membrană, poziția tijei (deplasarea) este în funcție de presiunea aerului.

În cazul elementelor cu ambele fețe ale pistonului active (fig. 9-33, *c*), poziția tijei *T* depinde de diferența de presiune între cele două fețe ale pistonului *P*, respectiv de diferența dintre presiunile aerului adus prin conductele A_1 și A_2. Aceste tipuri de elemente sînt folosite pentru deplasări mai mari (12—15 cm) și în cazurile în care se cer forțe egale de acționare în ambele sensuri de deplasare a tijei.

În majoritatea cazurilor, sistemul descris mai sus se folosește în combinație cu un element de comandă numit *distribuitor* (fig. 9-33, *d*). Dis-

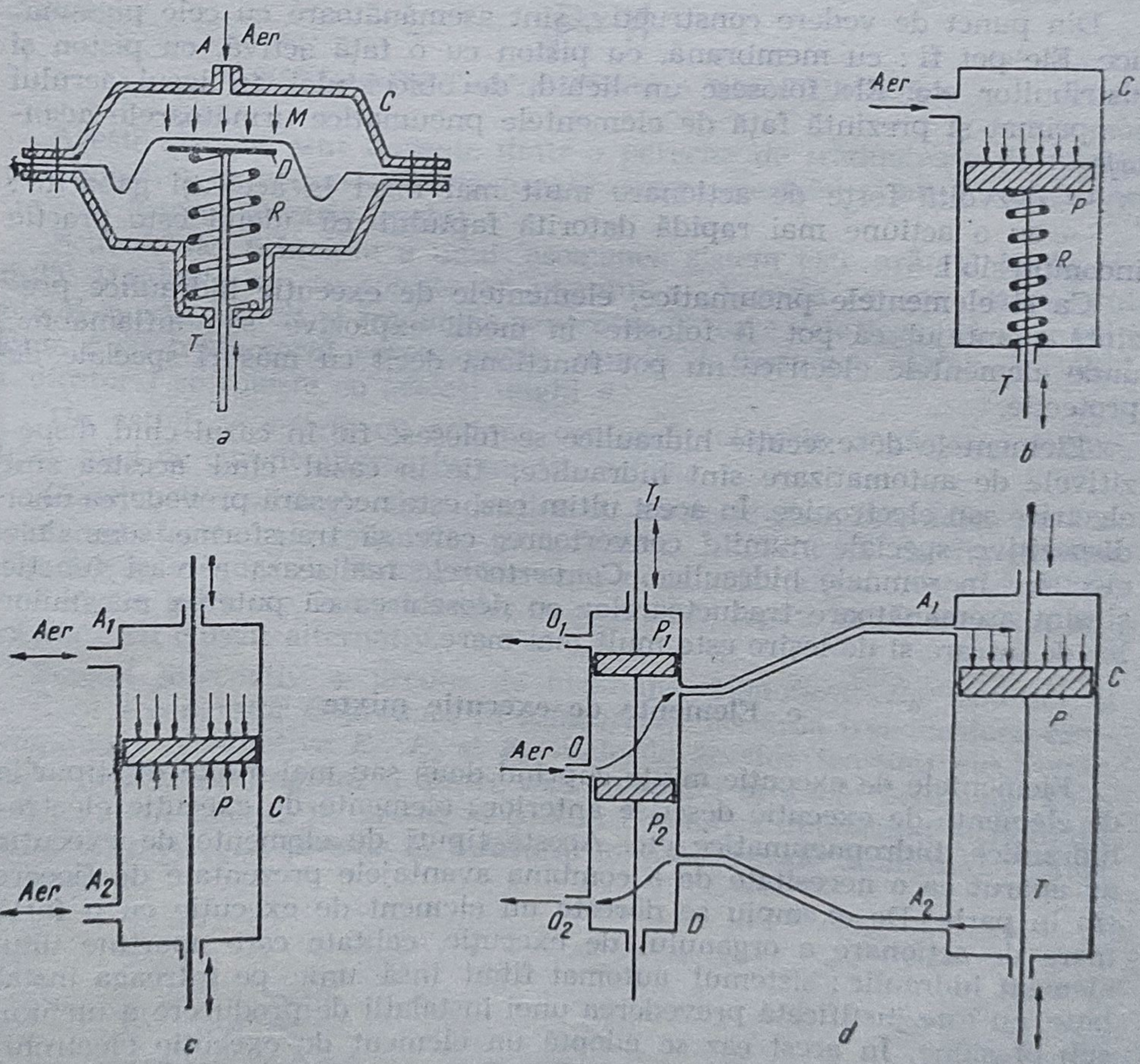


Fig. 9-33. Elemente de execuție pneumatice :

a — motor pneumatic cu membrană ; b — motor pneumatic cu piston cu o față a pistonului activă ; c — motor pneumatic cu piston cu ambele fețe ale pistonului active ; d — motor pneumatic cu piston și distribuitor.

tribuitorul D este un cilindru în care se deplasează un piston dublu P_1 și P_2 solidar cu tija T_1 și asigură distribuirea aerului adus prin conducta O fie la conducta A_1, fie la A_2, deplasînd prin aceasta tija T a cilindrului cu piston în jos sau în sus.

În figură, tija T_1 a distribuitorului este deplasată în sus, iar aerul comprimat adus prin conducta O este trimis prin conducta A_1 și apasă pistonul P și tija T în jos. Aerul din spatele pistonului P este evacuat prin conducta A_2. Similar, la deplasarea în jos a tijei T_1, tija T se deplasează în sus. Se observă că, deoarece presiunea aerului comprimat admis apasă în mod egal pe cele două pistoane P_1 și P_2, forța necesară deplasării tijei T_1 este relativ mică față de forța transmisă tijei T.

d. Elemente de execuție hidraulice

Din punct de vedere constructiv, sînt asemănătoare cu cele pneumatice. Ele pot fi : cu membrană, cu piston cu o față activă, cu piston și distribuitor etc. Ele folosesc un lichid, de obicei ulei, în locul aerului comprimat și prezintă față de elementele pneumatice următoarele *avantaje* :

— dezvoltă forțe de acționare mult mai mari la aceleași gabarite ;

— au o acțiune mai rapidă datorită faptului că uleiul este practic incompresibil.

Ca și elementele pneumatice, elementele de execuție hidraulice prezintă avantajul că pot fi folosite în medii explozive sau inflamabile, unde elementele electrice nu pot funcționa decît cu măsuri speciale de protecție.

Elementele de execuție hidraulice se folosesc fie în cazul cînd dispozitivele de automatizare sînt hidraulice, fie în cazul cînd acestea sînt electrice sau electronice. În acest ultim caz, este necesară prevederea unor dispozitive speciale numite convertoare, care să transforme semnalele electrice în semnale hidraulice. *Convertoarele* realizează aceeași funcție și sînt asemănătoare traductoarelor cu deosebirea că puterea mărimilor lor de intrare și de ieșire este mult mai mare.

e. Elemente de execuție mixte

Elementele de execuție mixte cuprind două sau mai multe din tipurile de elemente de execuție descrise anterior : elemente de execuție electrohidraulice, hidropneumatice etc. Aceste tipuri de elemente de execuție au apărut ca o necesitate de a combina avantajele prezentate de fiecare tip în parte. De exemplu se dorește un element de execuție cu o forță mare de acționare a organului de execuție, calitate care aparține unui element hidraulic ; sistemul automat fiind însă unic pe întreaga instalație, nu este justificată prevederea unei instalații de producere a uleiului sub presiune. În acest caz se adoptă un element de execuție electrohidraulic, ca cel arătat în figura 9-34.

Curentul de comandă I_c produce pornirea motorului electric M care antrenează pompa de ulei P. În acest mod uleiul este pompat în servo-

motorul hidraulic *H* din spațiul *B* în spațiul *A*, deplasînd tija *T* spre dreapta. Dacă curentul de comandă I_c își schimbă sensul, acțiunea are loc în sens invers. Un contaot electric plasat pe tija *T* asigură întreruperea impulsului de comandă a motorului electric la finele de cursă a elementului de execuție. Întregul ansamblu motor electric-pompă-motor hidraulic, constituie un tot unitar, reprezentînd, așa cum s-a arătat, un element de execuție electrohidraulic.

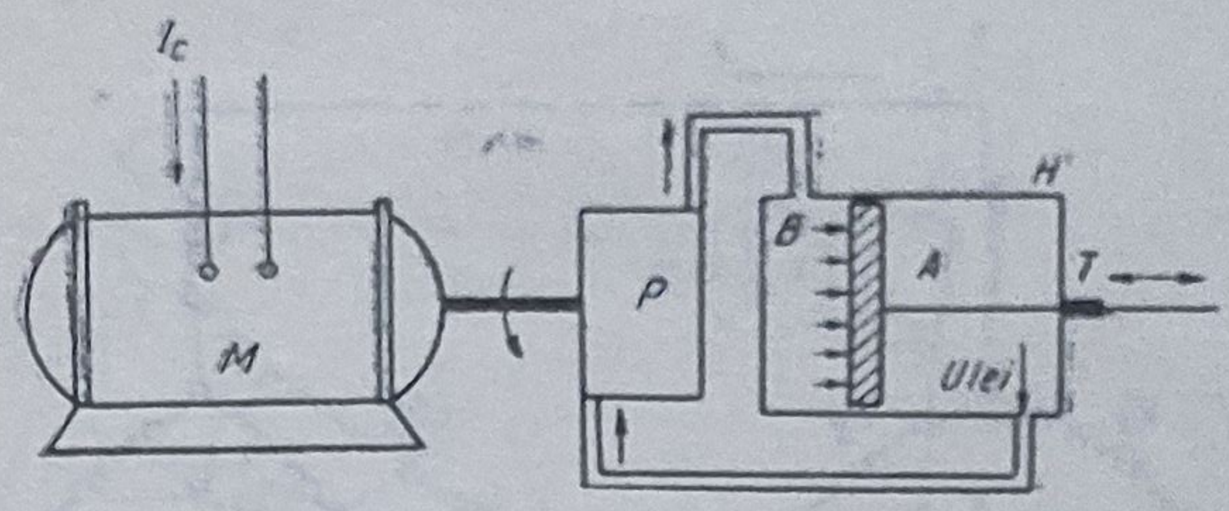


Fig. 9-34. Motor electrohidraulic.

7. SISTEME DE TRANSMITERE A UNGHIURILOR

Aceste sisteme sînt formate dintr-o pereche de traductoare de unghi, un traductor cu acțiune directă (unghi-curent electric) și altul cu acțiune inversă (curent electric-unghi).

Schema de principiu a unui asemenea sistem este arătată în figura 9-35. Manivela *m* se rotește cu unghiul α. Aceasta rotește traductorul unghi-curent, numit și *traductor generator G*, care este legat electric prin linia *l* cu traductorul curent-unghi numit și *traductor motor M*. Acul indicator *I* se rotește cu același unghi α.

Un astfel de sistem cu acțiune continuă folosește două mașini electrice mici de curent alternativ, numite *selsine*.

Constructiv, selsinele sînt identice cu mașinile sincrone, adică au statoarele trifazate și rotoarele monofazate. În schema de funcționare (fig. 9-36), înfășurările statorice ale celor două selsine (generator și motor) sînt legate între ele, iar rotoarele, de asemenea legate între ele, sînt alimentate cu curent alternativ.

Fluxul alternativ Φ produs de bobinajul monofazat R_G (rotoric) al selsinului generator *G* produce în înfășurările acestuia trei tensiuni electromotoare alternative E_1, E_2 și E_3. Valorile acestor tensiuni electromotoare depind de unghiul α dintre axa rotorului și axele bobinelor. Cele trei tensiuni creează în circuit, și deci în bobinajele motorului *M*, curenții I_1, I_2 și I_3. Aceștia produc în înfășurările statorice ale motorului fluxuri magnetice.

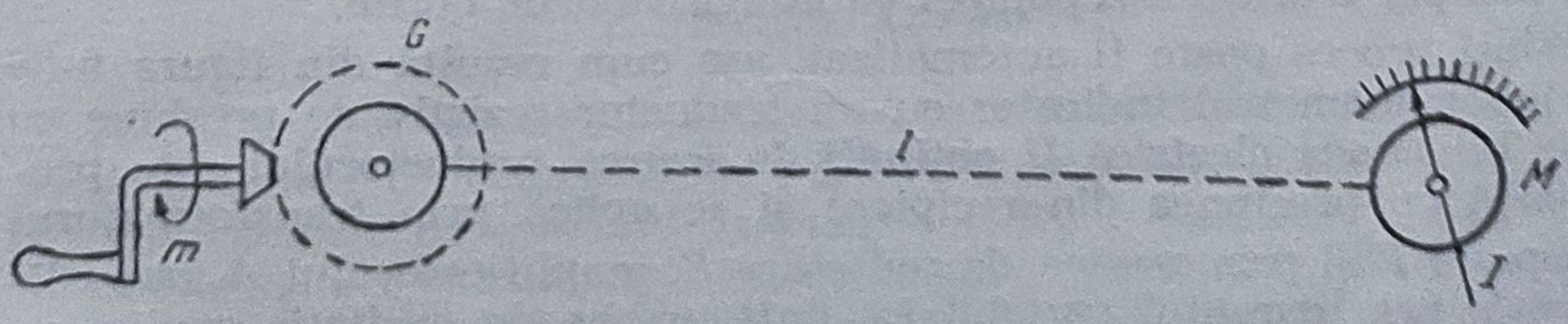


Fig. 9-35. Schema principială de transmitere la distanță a unghiurilor.

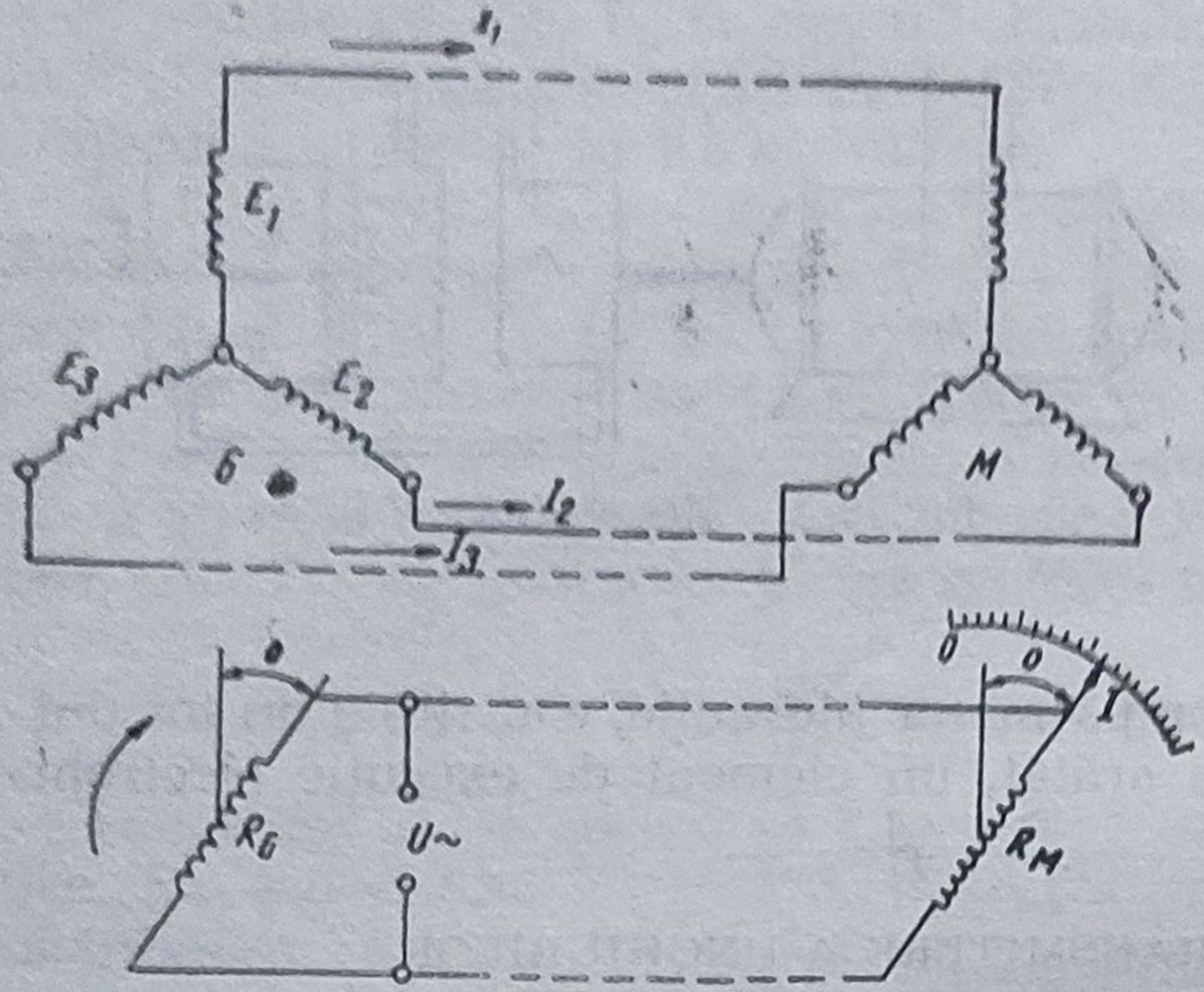


Fig. 9-36. Sistemul selsin de transmitere a unghiurilor.

Bobinajul rotoric al motorul fiind parcurs de curent şi aflîndu-se în cîmpul magnetic al statorului, va determina producerea unui cuplu care, acţionînd asupra rotorului R_M, îl deplasează pe acesta şi deci acul indicator I, cu acelaşi unghi α de la intrare.

D. EXEMPLU DE AUTOMATIZARE A UNEI INSTALAŢII

La începutul prezentării noţiunilor de automatizare, s-a considerat o instalaţie simplă de automatizare, prin studiul căreia s-a putut face introducerea în problemele legate de automatizare. După cunoaşterea elementelor funcţionale ale sistemelor automate, se va examina *automatizarea* unei instalaţii mai complicate şi anume a *unei instalaţii de pompare a unui fluid care asigură într-un recipient o presiune constantă*. Este un caz frecvent, ce poate fi particularizat la instalaţiile de hidrofoare, la staţiile de compresoare etc. Pe acest exemplu se vor defini şi alte noţiuni referitoare la sistemele automate.

S-a arătat că un sistem automat reprezintă de fapt o instalaţie tehnologică de producţie, la care s-a adăugat un dispozitiv de automatizare.

Fie o pompă C (fig. 9-37), antrenată de motorul M, ce trebuie să realizeze un debit variabil D proporţional cu presiunea P din recipientul R. Se presupune că între recipient şi pompă nu există nici o legătură fizică, iar comanda debitului pompei se face manual de către un operator.

Pentru a realiza dependenţa stabilită între debitul D şi presiunea P (de exemplu, cînd presiunea este 1 atmosferă trebuie ca debitul pompat să fie 10 litri pe secundă, la o presiune de 2 atmosfere debitul să fie 20 litri pe secundă etc.), operatorul urmăreşte permanent indicaţiile manometrului A şi ale instrumentului de măsurat debitul (debitmetru) B şi comandă reostatul E din circuitul de excitaţie al motorului M. Prin modificarea curentului de excitaţie i_e, se variază turaţia n a motorului şi deci a pompei C şi debitul pompei va atinge valorile dorite.

Acelaşi proces poate fi automatizat, aşa cum rezultă din figura 9-38 înlocuind manometrul indicator cu un traductor rezistiv de presiune cu tub T. Tensiunea electrică U obţinută la ieşirea traductorului este proporţională cu presiunea din recipient şi se aplică prin transformatorul de adaptare F şi prin puntea de redresare S, amplificatorului A care alimentează, prin curentul variabil i_{e2}, înfăşurarea de excitaţie suplimentară E_2 a motorului M. Ca o consecinţă a variaţiei presiunii din reci-

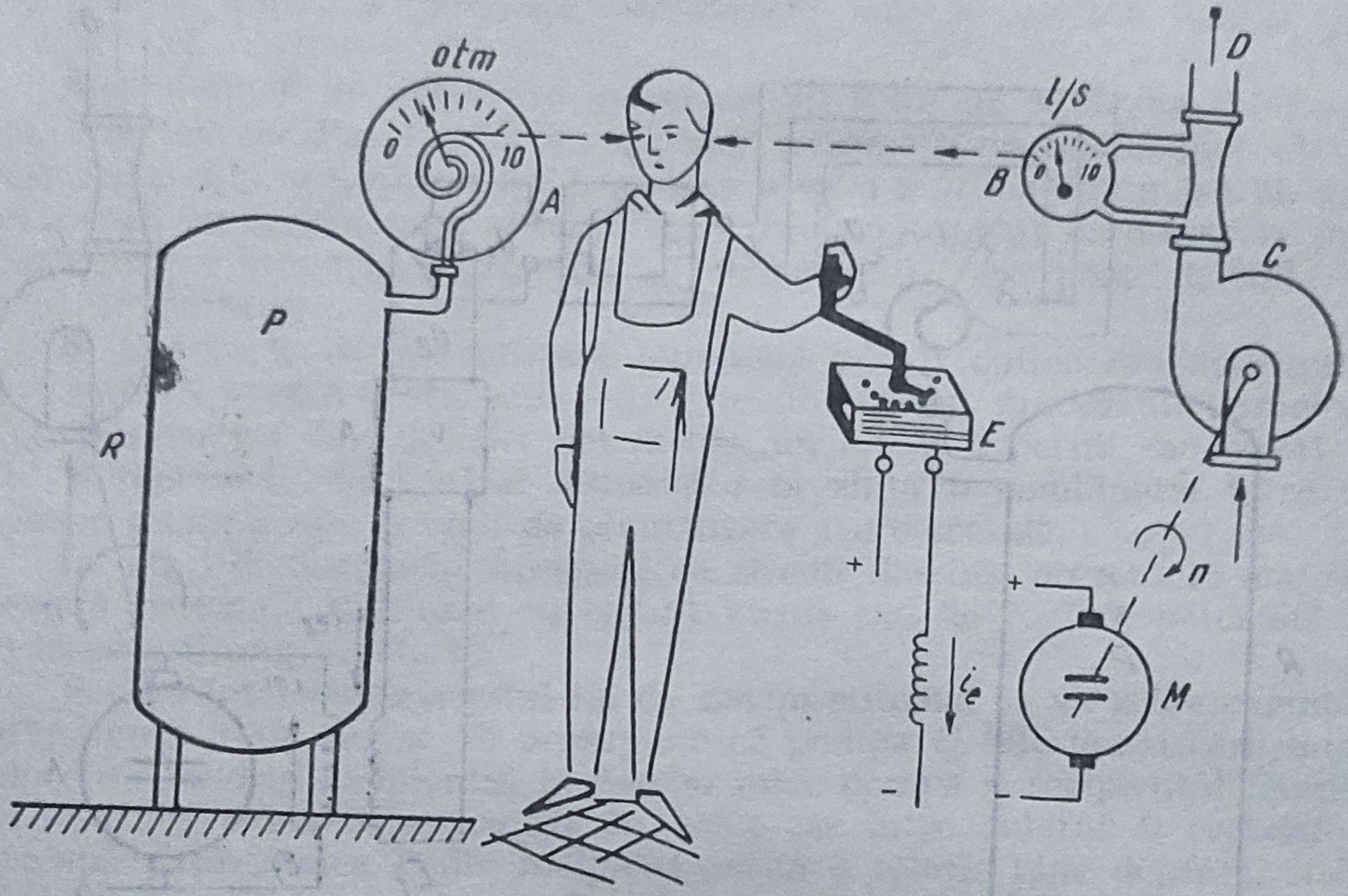


Fig. 9-37. Exemplu de comandă manuală.

pient, se va schimba curentul de excitaţie al motorului *M* şi prin aceasta — turaţia *n* a pompei şi debitul *D* al fluidului.

Caracteristicile elementelor sînt astfel alese încît relaţia între presiunea din recipient şi debitul de fluid să fie cea impusă.

Sistemul automat descris poate fi reprezentat simbolic prin schema de elemente (fig. 9-39, *a*), numită şi *schema bloc* sau *schema funcţională a sistemului*. Fiecare dreptunghi reprezintă un element al sistemului automat, iar săgeţile arată sensul de transmitere a acţiunii, adică dinspre intrare spre ieşire (mărimile şi elementele au aceleaşi notaţii ca în fig. 9-38). Schema bloc poate fi simplificată, reducînd-o la cele două părţi constitutive : dispozitivul de automatizare *A* şi instalaţia tehnologică *I* (fig. 9-39, *b*). În schema bloc a unui sistem automat, mărimile care se transmit între elemente şi care sînt de diferite naturi fizice (presiune, deplasare, tensiune electrică etc.) se numesc *semnale*. Astfel se spune : amplificatorul primeşte un semnal de la traductor şi transmite un alt semnal motorului electric ş.a.m.d.

E. SISTEME AUTOMATE

Din categoria sistemelor automate cu circuit deschis fac parte sistemele automate de comandă, de măsurare, de semnalizare şi de control.

● **Sistemele de comandă automate** (v. fig. 9—38) sînt acelea a căror acţiune este o comandă aplicată instalaţiei tehnologice. În general, comanda se face cu ajutorul unui element de execuţie (se închide sau se

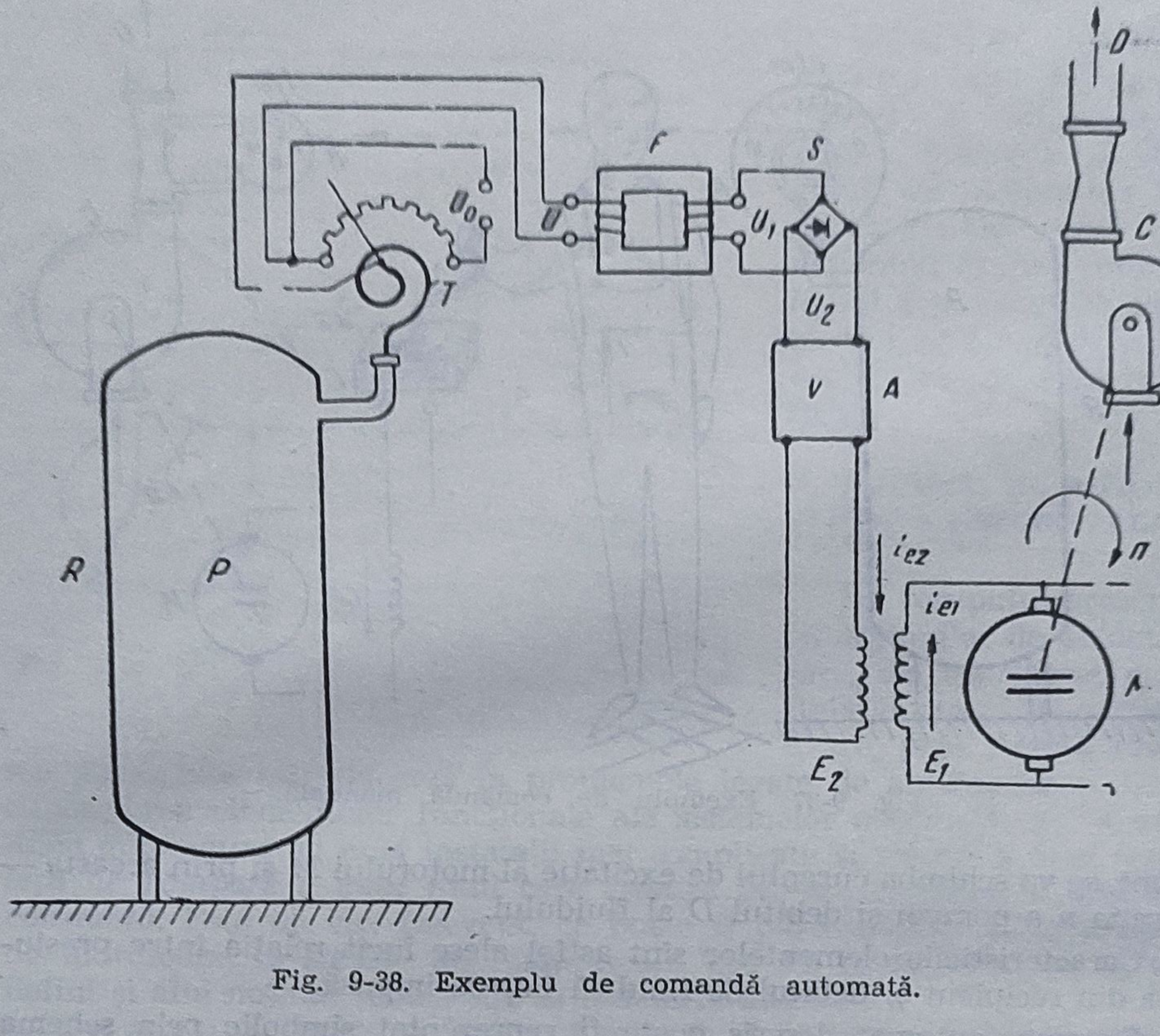


Fig. 9-38. Exemplu de comandă automată.

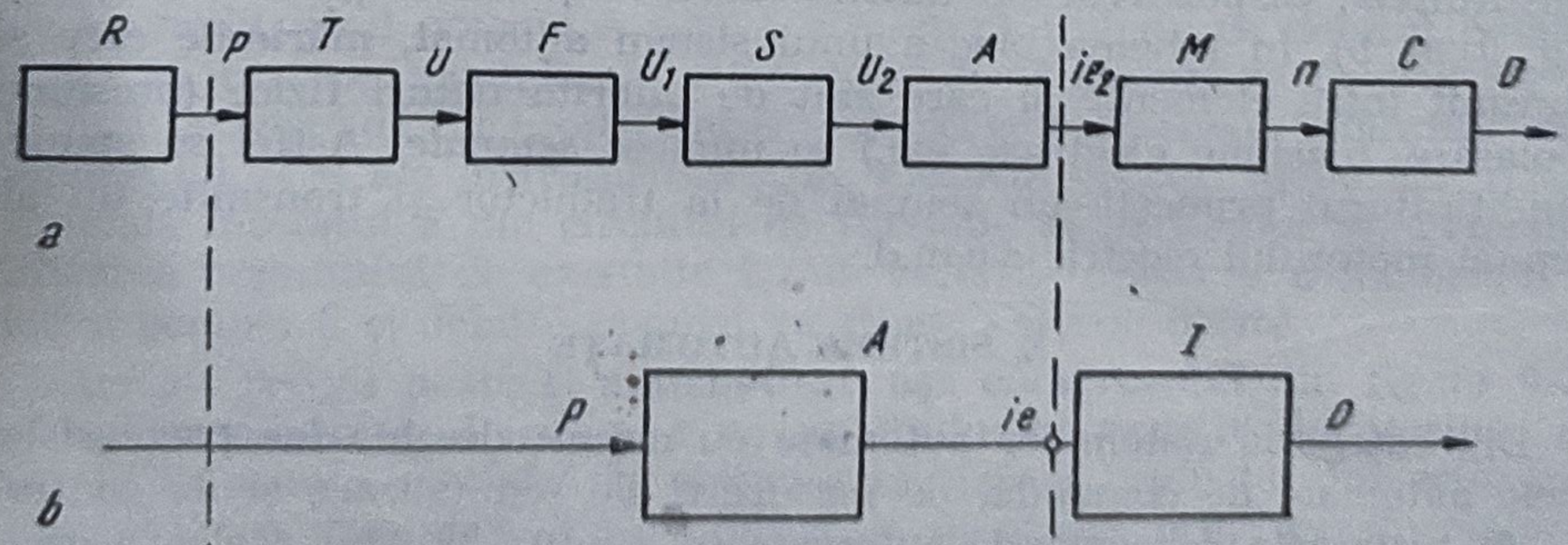


Fig. 9-39. Schema bloc a sistemelor automate cu circuit deschis :
a — schema de elemente ; b — schema simplificată.

deschide o vană, se pornește, se oprește sau se variază viteza unui motor etc.).

● **Sistemele de măsurare automată** au rolul de a obține informații cu caracter cantitativ asupra valorilor parametrilor tehnologici. Aceste sisteme conțin obligatoriu un traductor pentru mărimea de măsurat, apoi, eventual, un amplificator și ca element final un aparat de măsurare (ampermetru, voltmetru, logometru, galvanometru), care poate fi indicator sau înregistrator.

● **Sistemele de semnalizare automată** pot fi optice sau acustice și informează asupra stării unor agregate din cadrul procesului tehnologic (un întreruptor este deschis sau închis, un motor e pornit sau oprit).

● **Sistemele de control automat** reprezintă o combinație între un sistem de măsurare și unul de semnalizare sau comandă.

În afară de sistemele automate cu circuit deschis, prezentate mai sus, există sistemele automate cu circuit închis sau de reglare automată cu o largă utilizare practică.

Pentru înțelegerea acestui tip de sistem automat se va relua exemplul din figura 9-38, dar se va presupune că pompa C este aceea care introduce un fluid în recipientul R. Așadar între pompă și recipientul R există o legătură fizică (tehnologică). În acest caz între debitul D realizat de pompă și presiunea P din recipient există o relație bine definită, stabilită prin legile cunoscute din fizică.

Se presupune că se urmărește ca în mod automat presiunea în recipient să fie menținută constantă atunci cînd din recipient se consumă un debit variabil D_1. Pentru aceasta motorul compresorului va trebui să fie astfel comandat încît prin varierea turației sale, debitul de fluid care intră să fie egal cu debitul de fluid care iese din recipient. Această condiție se realizează în schema din figura 9-40. Traductorul rezistiv de presiune produce la ieșire o tensiune electrică U, proporțională cu presiunea P.

Fie P_0 valoarea constantă la care se dorește să se mențină presiunea în recipient, iar U_0 — tensiunea electrică corespunzătoare acestei tensiuni obținute de la traductorul rezistiv. Mărimea U_0 care exprimă condiția ce se impune sistemului automat din exterior se numește *mărime de consemn*.

Tensiunea U este aplicată bobinajului B_t al transformatorului cu trei înfășurări F. Înfășurarea B_i este alimentată de la o sursă de energie cu o tensiune constantă numită „tensiune de intrare“ a sistemului automat și care este egală cu mărimea de consemn U_0. Înfășurarea B_e alimentează prin puntea de redresare S amplificatorul A.

Înfășurările B_t și B_i sînt conectate astfel încît cîmpurile magnetice produse în miezul feromagnetic sînt de sens contrar. Prin înfășurarea B_e va exista un cîmp $H_i - H_e$, care produce un flux magnetic prin spirele acestei înfășurări ; acest flux variabil în timp va induce în bobină o tensiune electromotoare U_1 proporțională cu fluxul, deci cu diferența celor două tensiuni de intrare, adică :

$$U_1 = K_1 (U_0 - U).$$

Cînd presiunea în recipient are valoarea prescrisă P_0, tensiunea dată de traductor U este egală cu mărimea de consum U_0 și deci tensiunea U_1

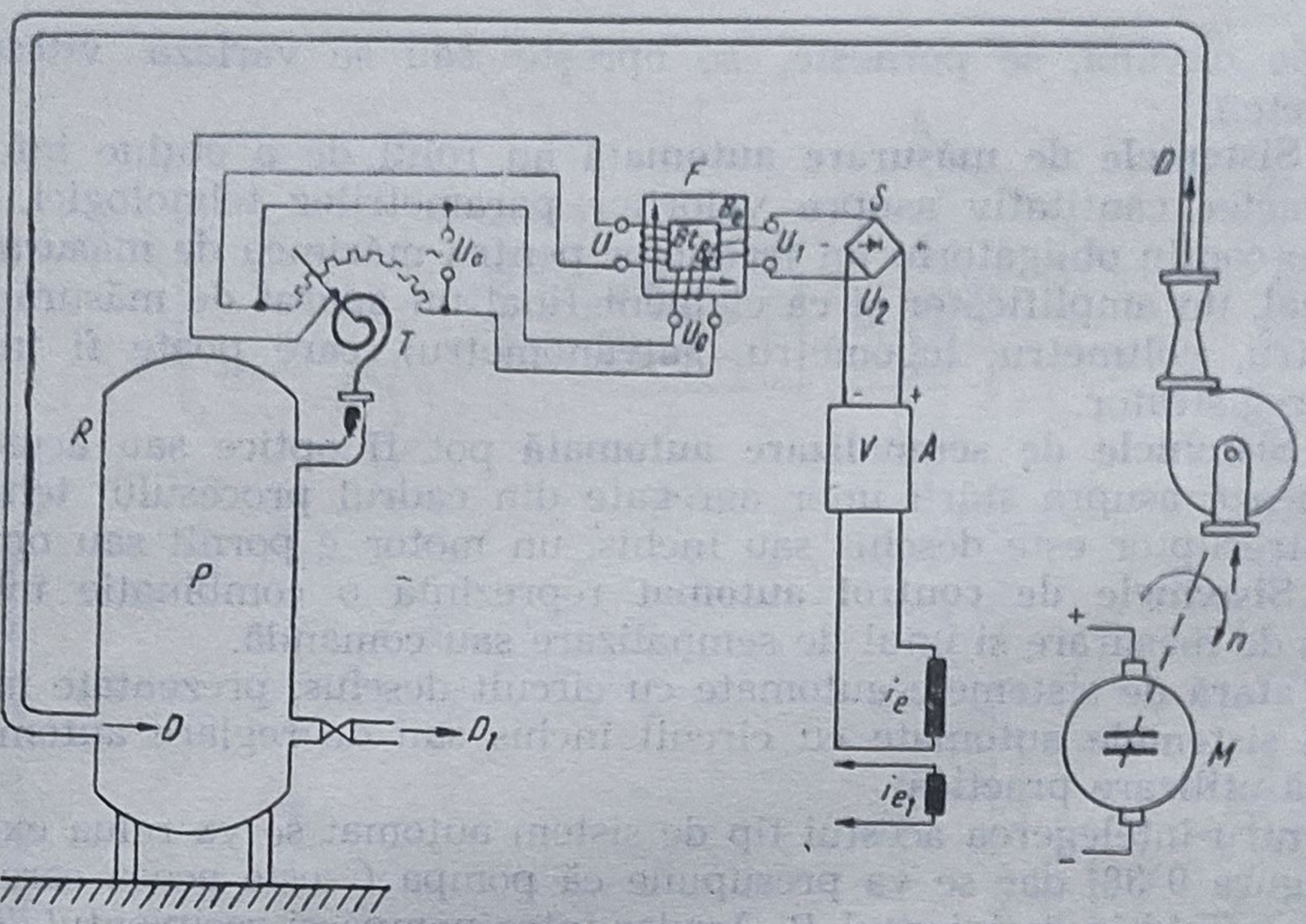


Fig. 9-40. Exemplu de sistem de reglare automată.

aplicată amplificatorului este nulă. Curentul i_e de alimentare a excitației motorului electric fiind, în acest caz, nul pompa se va roti cu o turație constantă și va da un debit constant. *Cînd presiunea în recipient scade sub cea prescrisă*, traductorul de presiune aplică transformatorului diferențial F o tensiune $U<U_0$ și deci ia naștere în înfășurarea B_e o tensiune U_1 care amplificată produce în circuitul înfășurării de excitație a motorului un curent, modificînd turația pompei. Astfel se asigură creșterea turației pompei, deci creșterea debitului D de fluid și implicit creșterea presiunii în recipientul R.

La creșterea presiunii din recipient peste valoarea P_0, tensiunea $U>U_0$, iar tensiunea rezultantă (U_0—U) aplicată amplificatorului are un semn schimbat față de cazul anterior. Aceasta atrage modificarea sensului curentului de excitație γ, scăderea turației pompei, deci scăderea debitului de fluid ce alimentează recipientul.

Întocmind schema bloc (fig. 9-41) a sistemului automat descris, se observă că aceasta formează un sistem automat în circuit închis. În cadrul schemei se poate separa (cu linie punctată verticală) dispozitivul de automatizare de instalația tehnologică. Se constată astfel că aceste două părți sînt legate între ele prin două căi : *legătura directă* sau *de comandă* de la dispozitivul de automatizare spre instalația tehnologică (ramura superioară) pînă la punctul *a*, și *legătura inversă, de măsurare sau de reacție* de la instalația tehnologică la dispozitivul de automatizare (ramura inferioară pînă în punctul *b*).

Mărimea adusă la intrare de la instalația tehnologică prin legătura de reacție (în exemplul dat, tensiunea U obținută de la traductorul de presiune) se numește *mărime de reacție*. Mărimea de consemn, tensiunea U_0,

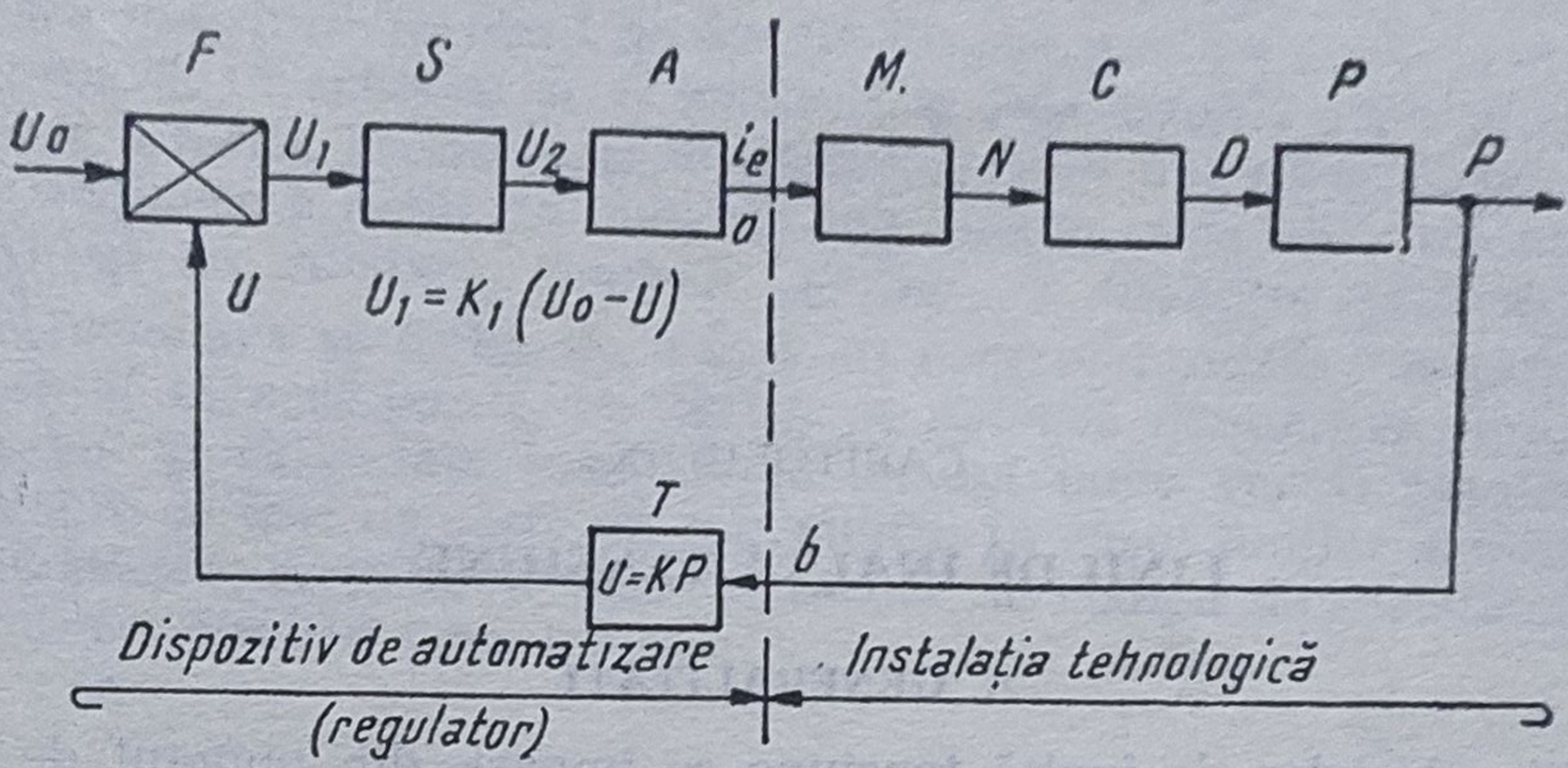


Fig. 9-41. Schema bloc a sistemului automat închis din figura 9-40.

se mai numește și *mărimea de intrare* a sistemului automat, iar mărimea realizată de către sistem, presiunea *P*, reprezintă *mărimea de ieșire* a sistemului automat. Elementul care compară mărimea de reacție (care este proporțională cu mărimea de ieșire) cu mărimea de intrare (în exemplu dat transformatorul *F*) se numește *element de comparație*.

Mărimea obținută la ieșirea elementului de comparație (în exemplu, tensiunea U_1) se numește *abatere* sau *eroare*. Așadar sistemele de reglare automată acționează pe baza „abaterii" mărimii de ieșire, realizate de instalația tehnologică, față de mărimea de consemn (intrare), acționarea făcîndu-se în sensul anulării abaterii.

În sistemele automate cu circuit închis (sisteme de reglare automată), elementele care se află între elementul de comparație și elementul de execuție formează o unitate complexă, numită *regulator*.

CAPITOLUL X

LINII DE ÎNALTĂ TENSIUNE

A. GENERALITĂȚI

Liniile electrice de înaltă tensiune se împart, din punctul de vedere al instalării lor, în două mari categorii; linii electrice aeriene și linii electrice în cablu.

Aproape toate liniile electrice — aeriene sau în cablu — care intervin în structura sistemelor energetice, sînt construite pentru curent alternativ trifazat, care prezintă cele mai mari avantaje pentru transportul și distribuția energiei electrice.

Caracteristica tehnică cea mai importantă a unei linii electrice este tensiunea nominală, adică tensiunea pentru care a fost dimensionată și construită linia (se ia în considerare tensiunea între două faze).

Cele mai importante linii de înaltă tensiune din țara noastră sînt: Slatina—București (162 km la 220 kV), Slatina—Porțile de Fier (170 km la 220 kV) și viitoarea linie Porțile de Fier—Rovinari—București (la 400 kV).

B. LINII AERIENE

1. STÎLPII LINIILOR ELECTRICE AERIENE

Stîlpii constituie unul din principalele elemente constructive ale liniilor electrice aeriene. Ei servesc la susținerea conductoarelor electrice la o anumită distanță față de pămînt sau față de diferite construcții. Stîlpii pot fi de lemn, de beton armat sau metalici.

2. TRASAREA ȘI PICHETAREA LINIILOR AERIENE

Se numește *traseul liniei* fîșia de pămînt pe unde trece linia pentru transportul energiei electrice.

● **Alegerea traseului.** Traseul liniei aeriene trebuie astfel ales, încît să aibă o lungime cît mai mică între cele două capete ale liniei și să traverseze cît mai puține drumuri, căi ferate, clădiri etc. În general, datorită anumitor obstacole (mlaștini, rîpi neaccesibile, aerodroame etc.), traseul nu poate fi în linie dreaptă ci urmează o linie cotită. De aceea, *la alegerea traseului* (stabilit de obicei prin proiect), *trebuie să se țină în vedere* atît *sursa de alimentare* și *consumatorii deserviți*, cît și *relieful* și *natura terenului*, pentru a se stabili astfel traseul optim al rețelei aeriene respective.

● **Pichetarea.** Înainte de începerea lucrărilor, instalatorii electricieni procedează mai întîi la identificarea şi însemnarea pe teren a traseului, după proiect. În acest scop, ei măsoară la faţa locului, cu ajutorul ruletei, stabilesc direcţia traseului şi însemnează locul unde vor fi plantaţi stîlpii de susţinere a liniei (la distanţa indicată în proiect), prin înfigerea unor ţăruşi de jalonare. Această operaţie se numeşte pichetare.

Ţăruşii de pichetare se înfig, de obicei, în centrul fundaţiei stîlpului care va fi plantat în acel punct. Pe ţăruşi se notează denumirea liniei, numărul stîlpului şi tipul său. Însemnarea locului unde vor fi plantaţi stîlpii de susţinere se face de către un topometru. În cazul liniilor aeriene mai puţin importante, pichetarea poate fi făcută de echipa de instalatori electricieni, sub conducerea unui maistru.

3. SĂPAREA GROPILOR

● Înainte de începerea săpăturilor, **se verifică dacă ţăruşul de pichetare este corect fixat.** Pentru aceasta trebuie ca el să se găsească în linie dreaptă cu ţăruşii de pichetare învecinaţi, în cazul în care traseul urmează o linie dreaptă. Dacă ţăruşul de pichetare se află pe un unghi al traseului, atunci el trebuie să fie în linie dreaptă cu ţăruşii vecini, de ambele părţi ale ţăruşului de pichetare care se află în vîrful unghiului.

● După verificarea poziţiei ţăruşilor, **se trasează forma gropilor pe suprafaţa solului,** în funcţie de dimensiunile fundului gropilor, menţionate în proiect.

● **Săparea gropilor.** Adîncimea gropii depinde de destinaţia stîlpului şi de natura terenului. În terenurile slabe, cu soluri nisipoase, gropile se fac cu pereţii laterali înclinaţi sau se sapă în trepte (fig. 10-1). Pereţii gropilor se sprijină cu scînduri, pentru a nu se surpa.

Dacă solul este suficient de rezistent (rocă stîncoasă sau argilă consistentă) ca să nu se surpe atunci cînd pereţii săpăturii sînt verticali, gropile se fac de formă cilindrică (fig. 10-2).

Gropile se sapă în majoritatea cazurilor manual.

La săparea gropilor trebuie să se ţină seama de unele *reguli privind protecţia muncii*, şi anume :

— înainte de a începe săpăturile în locurile în care s-ar putea afla cabluri electrice subterane, conducte de gaze etc., este necesar ca întreprinderile cărora ele le aparţin să fie avertizate din timp, pentru ca acestea să dea indicaţii precise asupra amplasamentului instalaţiei subterane şi să trimită un delegat la faţa locului ;

— dacă în timpul săpării se descoperă — ocazional — un cablu subteran, o conductă etc., lucrările trebuie întrerupte, iar faptul trebuie adus la cunoştinţa conductorului tehnic, pentru a se primi indicaţiile necesare. Cînd în gropi apar gaze, lucrătorii vor fi evacuaţi pînă la îndepărtarea gazelor ;

— cînd se sapă gropi în regiuni cu teren slab şi care prezintă pericol de surpare, pereţii gropilor trebuie să fie bine consolidaţi ;

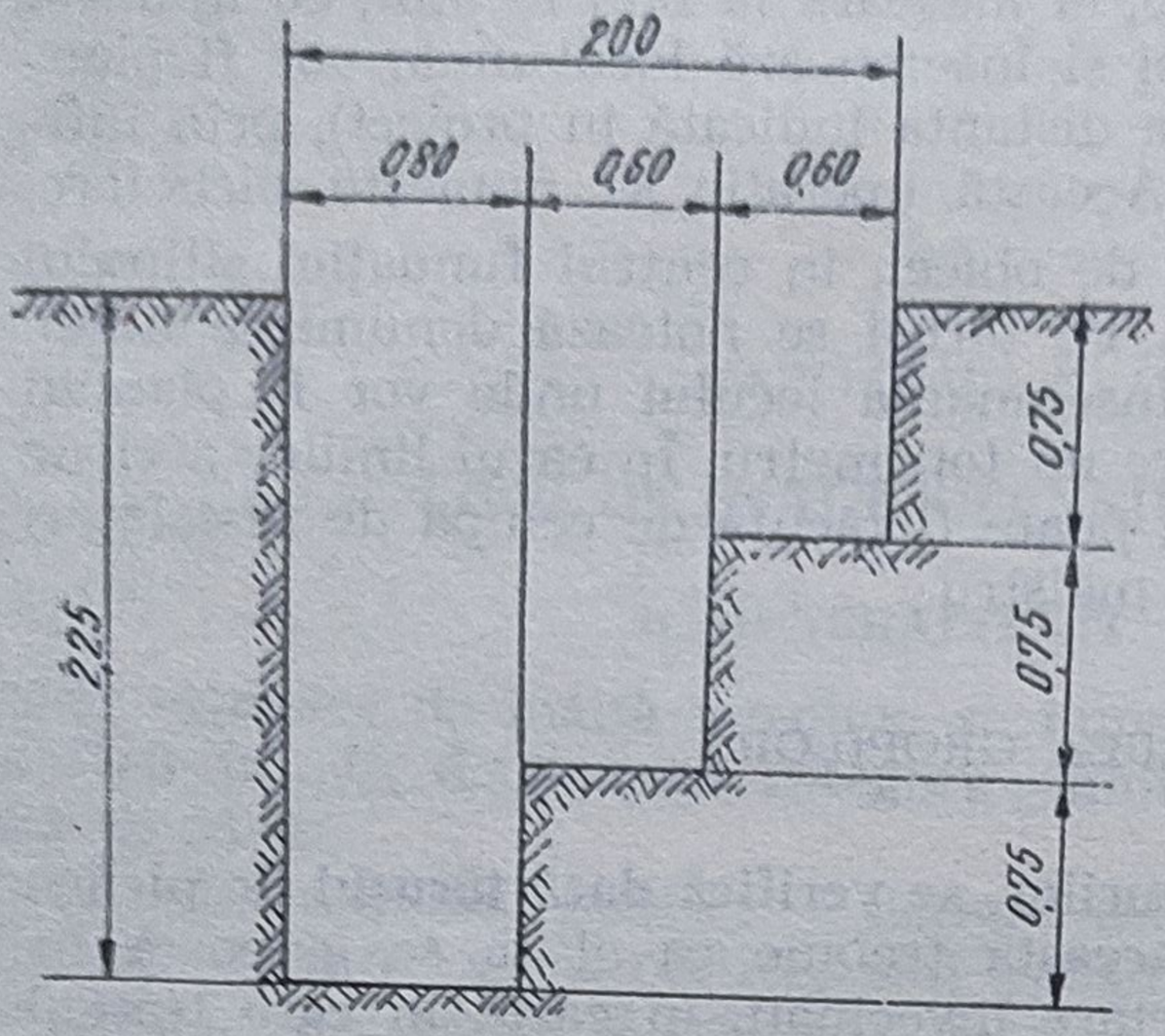


Fig. 10-1. Săparea gropilor în trepte.

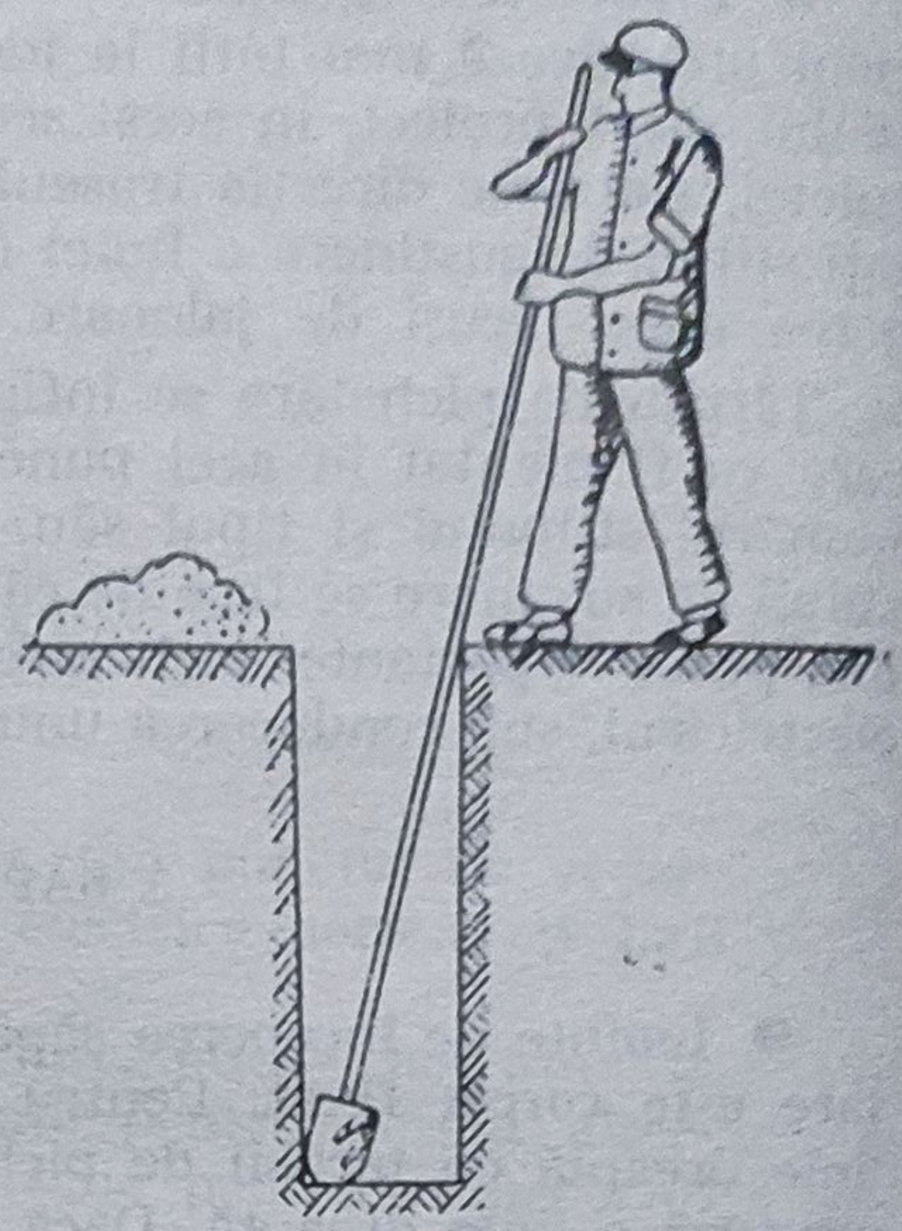


Fig. 10-2. Săparea gropilor cilindrice.

— gropile trebuie să fie îngrădite, iar pe îngrădiri să se pună semnale de avertizare corespunzătoare. În timpul nopții se vor așeza pe îngrădiri felinare aprinse, pentru avertizare ;

— în cazul cînd se sapă o groapă lîngă un stîlp existent, pentru a fi înlocuit, acesta va fi sprijinit sau ancorat, iar între groapă și stîlp se va lăsa o distanță minimă de 0,25 m.

4. FASONAREA ȘI ALCĂTUIREA STÎLPILOR

După destinația lor, stîlpii se împart în : stîlpi de întindere și stîlpi de susținere.

Stîlpii de întindere sînt solicitați la o mare parte din tracțiunea mecanică exercitată de conductoarele liniei aeriene. Ei se subdivid în : *stîlpi de colț* (de unghi), care sînt dispuși la unghiurile de cotire ale traseului ; *stîlpi de întindere propriu-ziși*, care sînt amplasați pe porțiunea dreaptă a traseului ; *stîlpii de capăt* (terminali), care sînt instalați la capetele liniei.

Stîlpii de întindere, în special cei *din lemn*, se alcătuiesc — de obicei — din doi stîlpi simpli, formînd așa-numiții *stîlpi combinați* sau *compuși*.

Stîlpii de întindere din beton sau metalici se dimensionează în mod corespunzător acestui scop prin construcția lor ; de aceea ei sînt mai rar alcătuiți ca stîlpi compuși.

Stîlpii de susținere susțin conductoarele între stîlpii de întindere.

Stîlpii de susținere, nefiind solicitați la eforturi de tracțiune mari, se plantează fără alte adaosuri constructive auxiliare (stîlpi simpli).

Stîlpii de lemn, înainte de a se planta trebuie să fie fasonați și „alcătuiți". Fasonarea se face pe șantier într-un loc accesibil, de unde

se transportă apoi la locul de plantare, unde se definitivează și alcătuirea lor.

Stîlpii compuși (de întindere) se confecționează pe șantier. În realizarea formei și dimensiunilor necesare se respectă STAS 257-57.

Prin asocierea celor doi stîlpi componenți se obțin diferite tipuri de stîlpi compuși : stîlp dublu, stîlp AC, stîlp AI etc. În figura 10-3, *a* este reprezentat un stîlp dublu, iar în figura 10-3, *b* — un stîlp AI.

Dacă este nevoie să se obțină stîlpi mai înalți (de exemplu la traversările de drumuri sau de căi ferate), se folosesc adaosuri la stîlpii de lemn. În acest scop se adaugă un stîlp de lungime mai mică, care se leagă cu bandaje de sîrmă de stîlpul care trebuie prelungit (fig. 10-4, *a*).

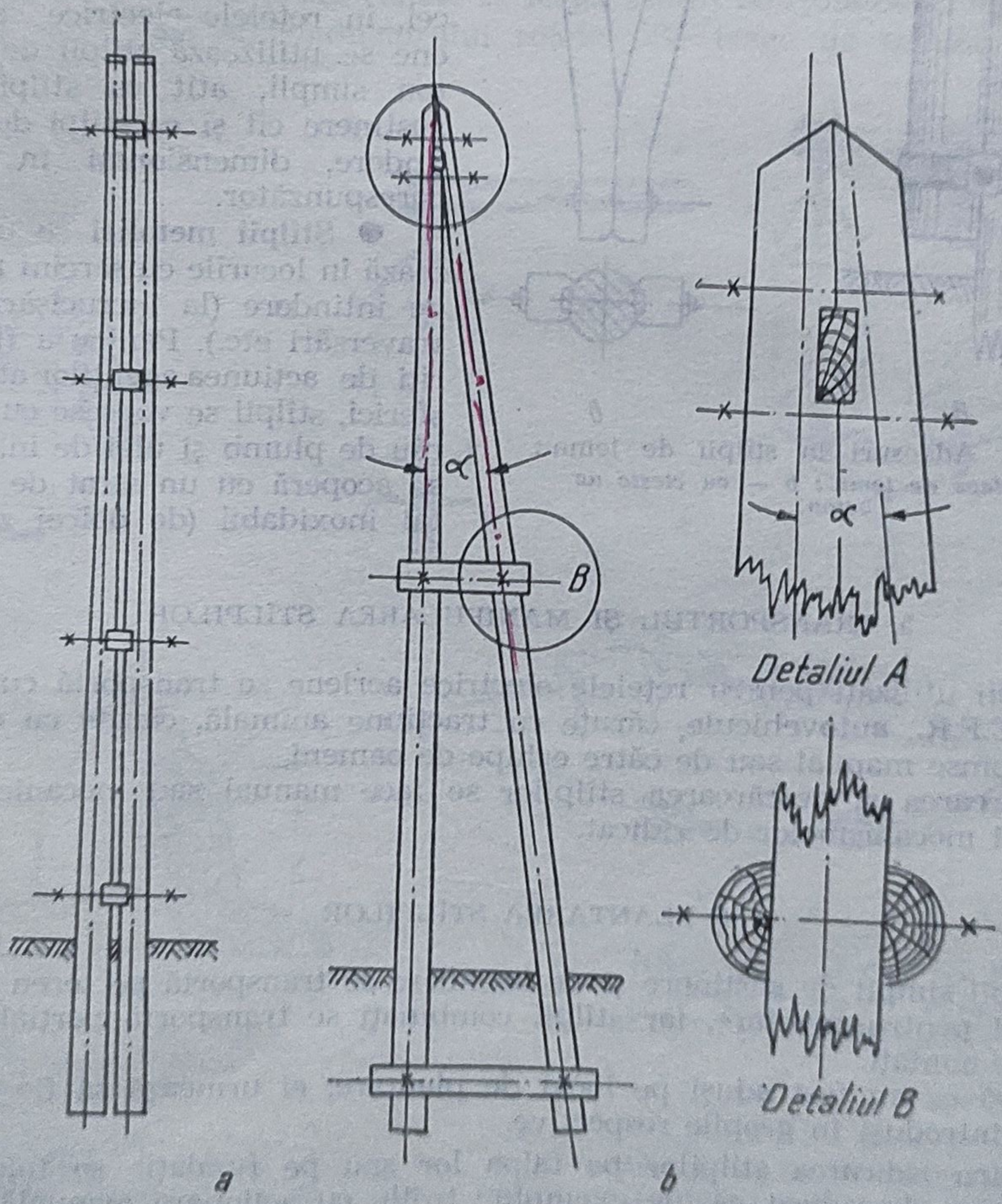
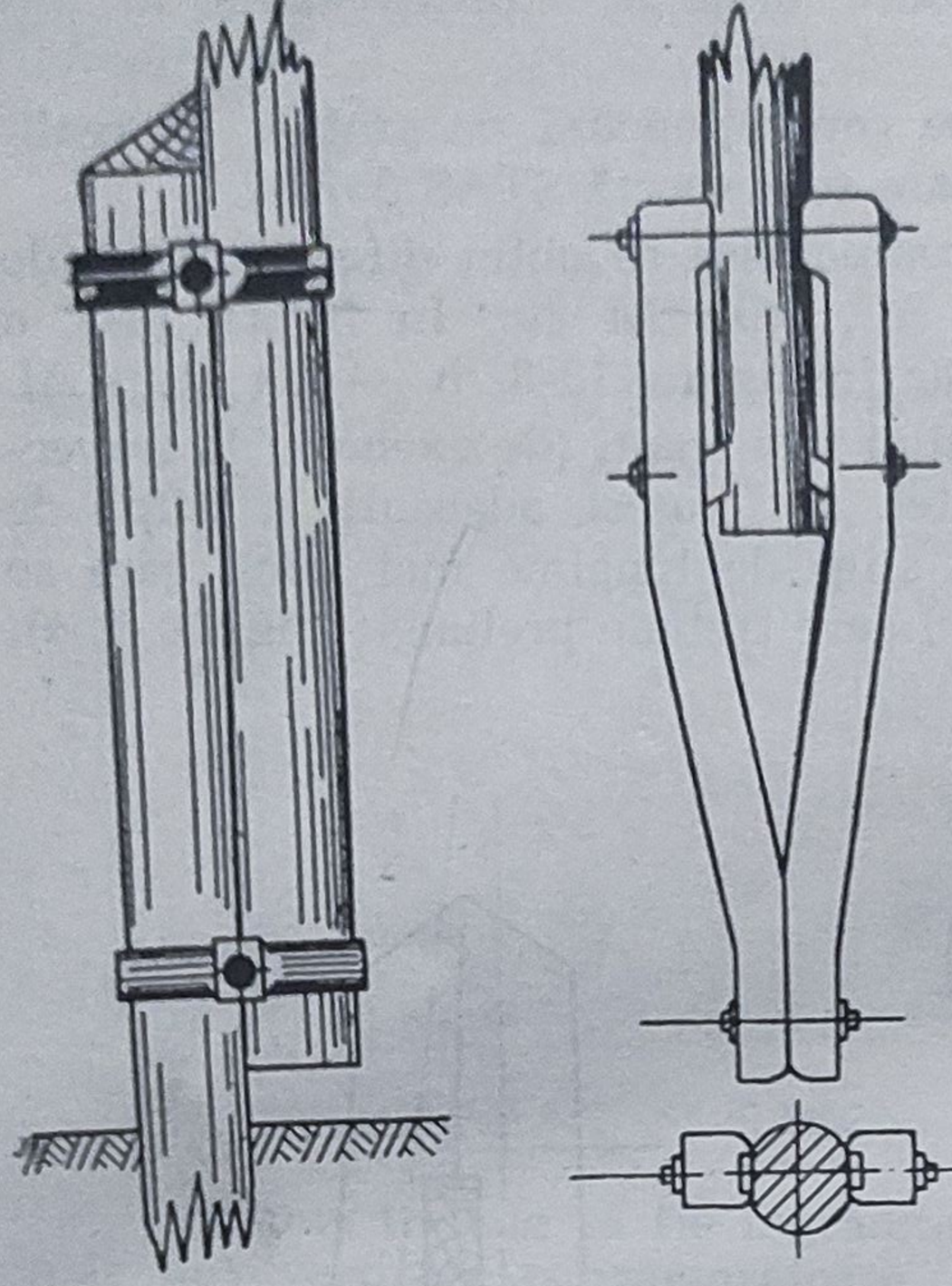


Fig. 10-3. Stîlpi de lemn compuși :
a* — *stîlp dublu* ; *b* — *stîlp AI.



a *b*

Fig. 10-4. Adaosuri la stîlpii de lemn :
a — adaos de lemn ; b — cu cleşte de beton.

La reţele mai importante pe stîlpi de lemn sau în terenuri mlăştinoase etc., se întrebuinţează pentru adaus cleşti de beton armat. Cleştii de beton se fixează la stîlp prin nişte fălci strînse cu buloane groase (fig. 10-4, *b*). Baza stîlpului de lemn rămîne la o oarecare depărtare de sol, pentru a permite scurgerea apei de ploaie şi aerisirea lemnului.

● **Stîlpii de beton.** De obicei, în reţelele electrice aeriene se utilizează stîlpii de beton simpli, atît ca stîlpi de susţinere cît şi ca stîlpi de întindere, dimensionaţi în mod corespunzător.

● **Stîlpii metalici** se utilizează în locurile cu sarcini mari de întindere (la încrucişări, la traversări etc.). Pentru a fi feriţi de acţiunea agenţilor atmosferici, stîlpii se vopsesc cu miniu de plumb şi ulei de in, sau se acoperă cu un strat de metal inoxidabil (de obicei zinc).

5. TRANSPORTUL ŞI MANIPULAREA STÎLPILOR

Stîlpii utilizaţi pentru reţelele electrice aeriene se transportă cu vagoane C.F.R., autovehicule, căruţe cu tracţiune animală, căruţe cu două roţi împinse manual sau de către echipe de oameni.

Incărcarea şi descărcarea stîlpilor se face manual sau mecanic, cu ajutorul mecanismelor de ridicat.

6. PLANTAREA STÎLPILOR

Stîlpii simpli de susţinere şi de întindere se transportă pe teren gata echipaţi pentru montare, iar stîlpii combinaţi se transportă parţial sau total demontaţi.

După ce au fost aduşi pe locul de plantare, ei urmează să fie ridicaţi şi introduşi în gropile respective.

Pentru ridicarea stîlpilor pe talpa lor sau pe fundaţie se folosesc mecanisme de ridicat ca, de exemplu : trolii, cu acţionare manuală sau mecanică, palane şi scripeţi, automacarale, capre basculante, furci de lemn (ţapine) etc.

7. MONTAREA LANȚURILOR DE IZOLATOARE

Izolatoarele servesc la fixarea conductoarelor de stîlpii liniilor electrice aeriene. Pentru a avea bune calități izolante ele se execută din porțelan; pe de altă parte însă, izolatoarele transmițînd stîlpilor eforturile din conductoare, trebuie să aibă și calități mecanice corespunzătoare.

Forma și dimensiunile izolatoarelor sînt diferite (fig. 10-5).

Mai multe izolatoare de suspensie se leagă între ele, formînd lanțuri de izolatoare. Numărul de elemente depinde de tensiunea liniei (fig. 10-6).

Pentru ridicarea lanțului de izolatoare se utilizează un scripete fixat în vîrful stîlpului, peste care se trece o frînghie cu ambele capete atîrnate pe sol. De unul din capete se leagă lanțul de izolatoare, de care este legat un capăt al conductorului rețelei. Se trage de celălalt capăt al frînghiei.

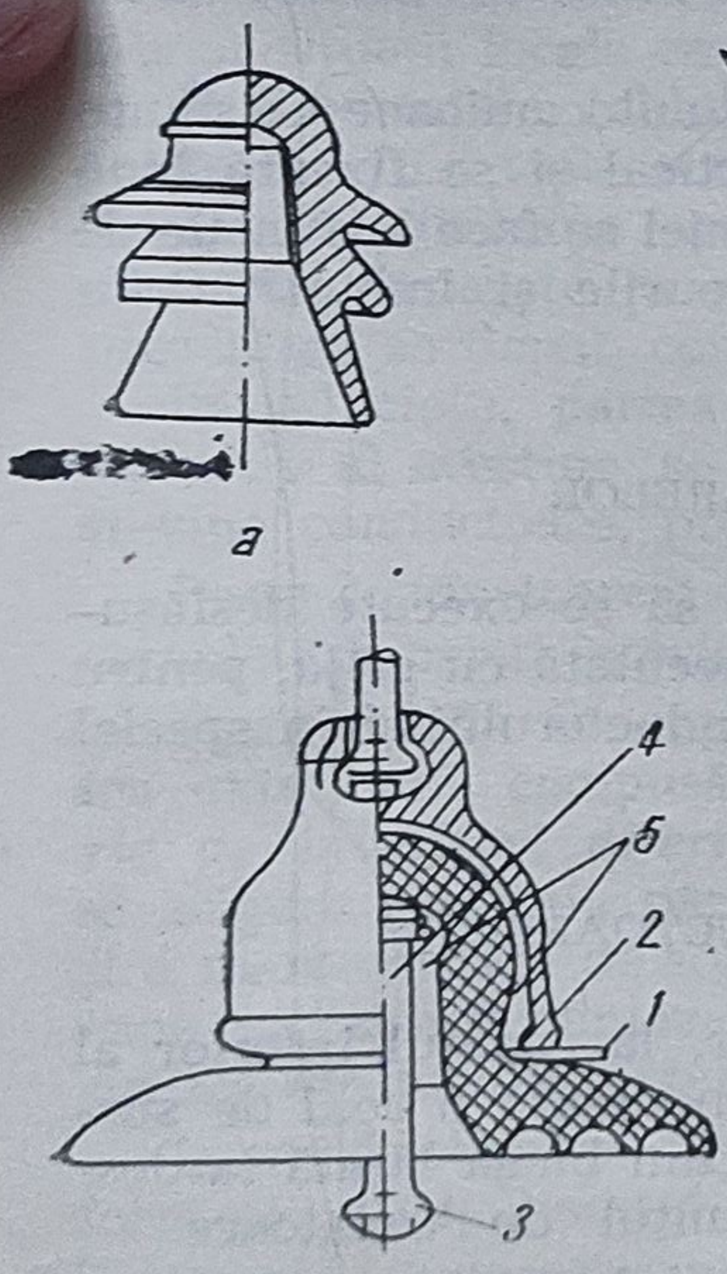


Fig. 10-5. Izolatoare:
a — tip suport; b — de suspensie cu capă; 1 — izolator; 2 — capă; 3 — capul tijei; 4 — tijă; 5 — chit de fixare.

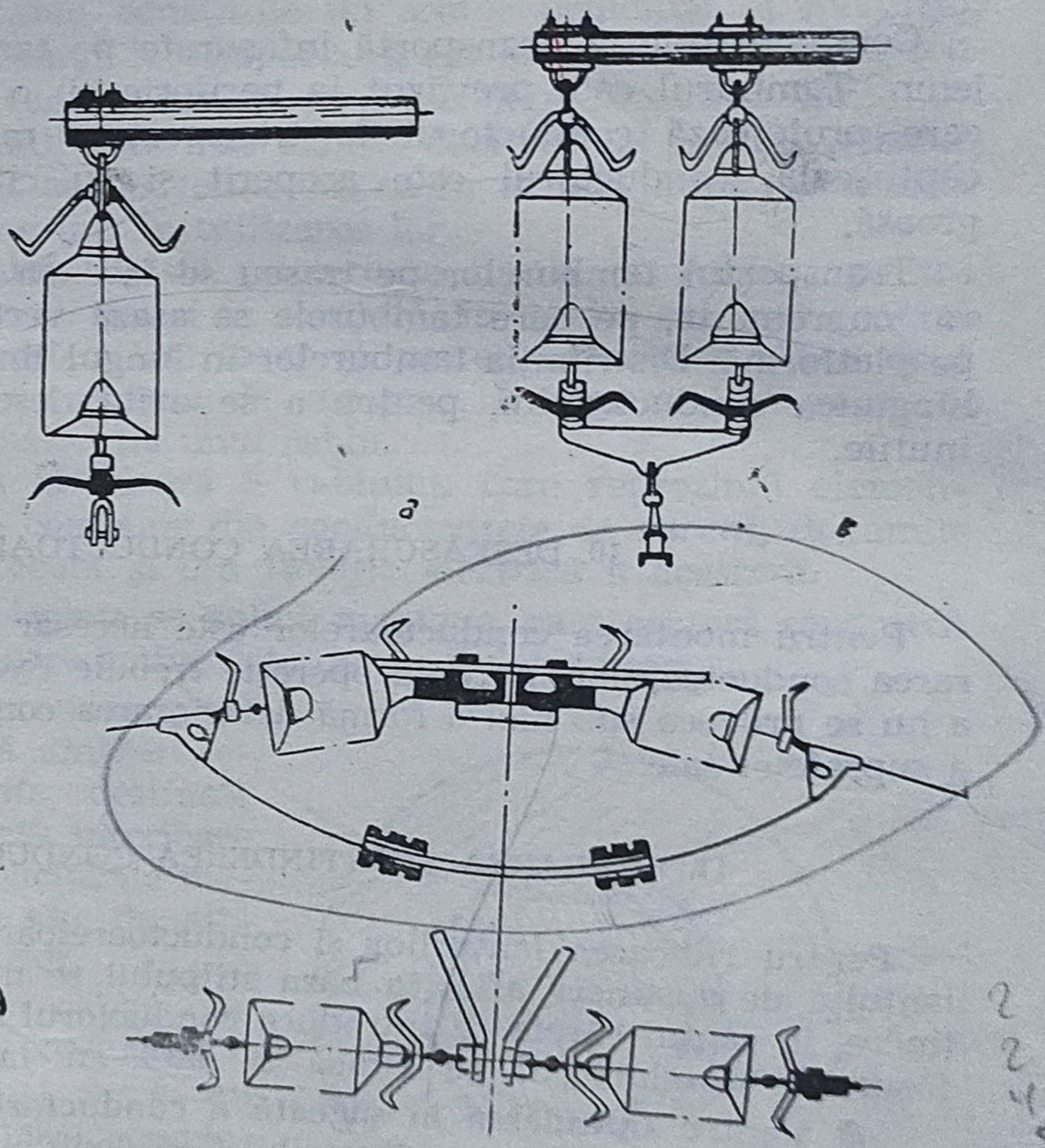


Fig. 10-6. Lanț de izolatoare:
a — simplu, de susținere; b — simplu, de întindere; c — dublu, de susținere.

8. CONDUCTOARELE LINIILOR AERIENE

Conductoarele liniilor electrice aeriene se clasifică în conductoare active şi conductoare de protecţie. Prin conductoarele active se transportă energia electrică. Conductoarele de protecţie asigură protecţia liniei electrice aeriene împotriva supratensiunilor atmosferice.

Conductoarele active ale liniilor electrice aeriene se fabrică din cupru, bronz, aluminiu, aldrey şi oţel zincat (pentru sarcini electrice mici). Conductoarele de protecţie se construiesc în general din oţel zincat. Conductoarele se pot fabrica fie dintr-un singur material (cupru, aluminiu, oţel, aldrey) fie din două materiale (unul din materiale este mai puţin rezistent din punct de vedere mecanic şi mai bun conducător, iar celălalt preia în special sarcini mecanice).

9. TRANSPORTUL CONDUCTOARELOR

Conductoarele se transportă înfăşurate pe tambure confecţionate din lemn. Tamburul este prevăzut la periferie cu o căptuşeală de scînduri, care protejează conductorul la transport şi manipulare. Sub această căptuşeală, conductorul este acoperit şi cu cîteva straturi de hîrtie groasă.

Transportul tamburelor pe traseu se face cu autocamioane obişnuite sau cu remorci, pe care tamburele se aşază vertical şi se fixează bine pe platformă. Distribuţia tamburelor în lungul liniei se face în funcţie de lungimea conductorului, pentru a se evita deşeurile şi îmbunătăţirile inutile.

10. DESFĂŞURAREA CONDUCTOARELOR

Pentru montarea conductoarelor este necesar să se execute desfăşurarea conductoarelor. Această operaţie trebuie executată cu grijă, pentru a nu se provoca sub nici o formă deteriorarea conductorului şi în special a suprafeţei sale.

11. RIDICAREA ŞI ÎNTINDEREA CONDUCTOARELOR

Pentru ridicarea lanţurilor şi conductoarelor, la capătul inferior al lanţului de susţinere aflat la baza stîlpului se montează o rolă de susţinere, în şanţul căreia se introduce conductorul din bucla lăsată la desfăşurare. Conductorul se ridică o dată cu lanţul de izolatoare.

● Pentru **întinderea la săgeată a conductorului** se alege o deschidere care trebuie să fie pe cît posibil fără denivelări.

Săgeata se stabileşte în funcţie de lungimea deschiderii în care se face măsurarea şi de temperatura mediului, măsurată cu un termometru suspendat la 4—5 m de la sol şi ferit de razele de soare directe.

In terenuri plane, măsurarea săgetii în timpul întinderii se face prin vizare directă.

8. CONDUCTOARELE LINIILOR AERIENE

Conductoarele liniilor electrice aeriene se clasifică în conductoare active și conductoare de protecție. Prin conductoarele active se transportă energia electrică. Conductoarele de protecție asigură protecția liniei electrice aeriene împotriva supratensiunilor atmosferice.

Conductoarele active ale liniilor electrice aeriene se fabrică din cupru, bronz, aluminiu, aldrey și oțel zincat (pentru sarcini electrice mici). Conductoarele de protecție se construiesc în general din oțel zincat. Conductoarele se pot fabrica fie dintr-un singur material (cupru, aluminiu, oțel, aldrey) fie din două materiale (unul din materiale este mai puțin rezistent din punct de vedere mecanic și mai bun conducător, iar celălalt preia în special sarcini mecanice).

9. TRANSPORTUL CONDUCTOARELOR

Conductoarele se transportă înfășurate pe tambure confecționate din lemn. Tamburul este prevăzut la periferie cu o căptușeală de scînduri, care protejează conductorul la transport și manipulare. Sub această căptușeală, conductorul este acoperit și cu cîteva straturi de hîrtie groasă.

Transportul tamburelor pe traseu se face cu autocamioane obișnuite sau cu remorci, pe care tamburele se așază vertical și se fixează bine pe platformă. Distribuția tamburelor în lungul liniei se face în funcție de lungimea conductorului, pentru a se evita deșeurile și îmbunătățirile inutile.

10. DESFĂȘURAREA CONDUCTOARELOR

Pentru montarea conductoarelor este necesar să se execute desfășurarea conductoarelor. Această operație trebuie executată cu grijă, pentru a nu se provoca sub nici o formă deteriorarea conductorului și în special a suprafeței sale.

11. RIDICAREA ȘI ÎNTINDEREA CONDUCTOARELOR

Pentru ridicarea lanțurilor și conductoarelor, la capătul inferior al lanțului de susținere aflat la baza stîlpului se montează o rolă de susținere, în șanțul căreia se introduce conductorul din bucla lăsată la desfășurare. Conductorul se ridică o dată cu lanțul de izolatoare.

● Pentru **întinderea la săgeată a conductorului** se alege o deschidere care trebuie să fie pe cît posibil fără denivelări.

Săgeata se stabilește în funcție de lungimea deschiderii în care se face măsurarea și de temperatura mediului, măsurată cu un termometru suspendat la 4—5 m de la sol și ferit de razele de soare directe.

In terenuri plane, măsurarea săgetii în timpul întinderii se face prin vizare directă.

Urmează apoi operația de întindere la săgeată care se execută fie mecanizat, cu un tractor sau autocamion, fie cu un troliu montat după stîlpul de întindere al panoului.

Vizarea directă a săgeții se execută de un montor experimentat, care este urcat pe un stîlp în dreptul stachetei orizontale fixate pe stîlp.

In momentul în care muncitorul care vizează constată că punctul cel mai de jos al conductorului este pe linia vizuală care unește cele două stachete el oprește întinderea. Se înseamnă pe conductor punctul corespunzător axului rolei de întindere, după care conductorul se slăbește, se coboară și se montează olema de întindere.

C. LINII SUBTERANE

1. CABLURI DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Liniile electrice în cablu constituie un sector principal al lucrărilor energetice, atît prin volumul lor important, cît și prin problemele tehnice și tehnologice pe care le ridică execuția și exploatarea lor.

Deși costul acestor linii este mai ridicat decît cel al liniilor aeriene, totuși rețelele în cablu s-au dezvoltat din ce în ce mai mult, ca urmare a unor situații locale care impun utilizarea lor.

● **Elementele cablului.** Există numeroase tipuri de cabluri pentru aceste linii. La toate aceste tipuri se constată, în modul cel mai general, două părți distincte : *partea interioară* și *partea exterioară.* Cele două părți sînt separate prin *mantaua de etanșare.* În figura 10-7 este reprezentată secționat, construcția unui cablu.

In principiu, **partea interioară a cablului,** care reprezintă elementul activ al acestuia, se compune din *conductoarele de curent,* denumite și vine conductoare, precum și din *izolația electrică a acestora.*

Peste conductoarele izolate se aplică **mantaua,** care asigură separarea completă a părții interioare active față de mediul exterior.

Peste manta se suprapune **partea exterioară,** compusă dintr-o *serie de învelișuri diferite,* destinate să asigure protecția părții interioare și a mantalei față de solicitările mecanice, fizice, chimice sau de altă natură din mediul exterior.

În mod obișnuit, un cablu de forță are 1, 2, 3 sau 4 conductoare.

Pentru secțiunile mici, de 6—10 mm^2, se utilizează, de obicei, conductoare masive (unifilare), iar pentru secțiunile de la 16 mm^2 în sus, conductoare-funie (multifilare), care oferă posibilitatea unui montaj mai bun și condiții superioare de funcționare.

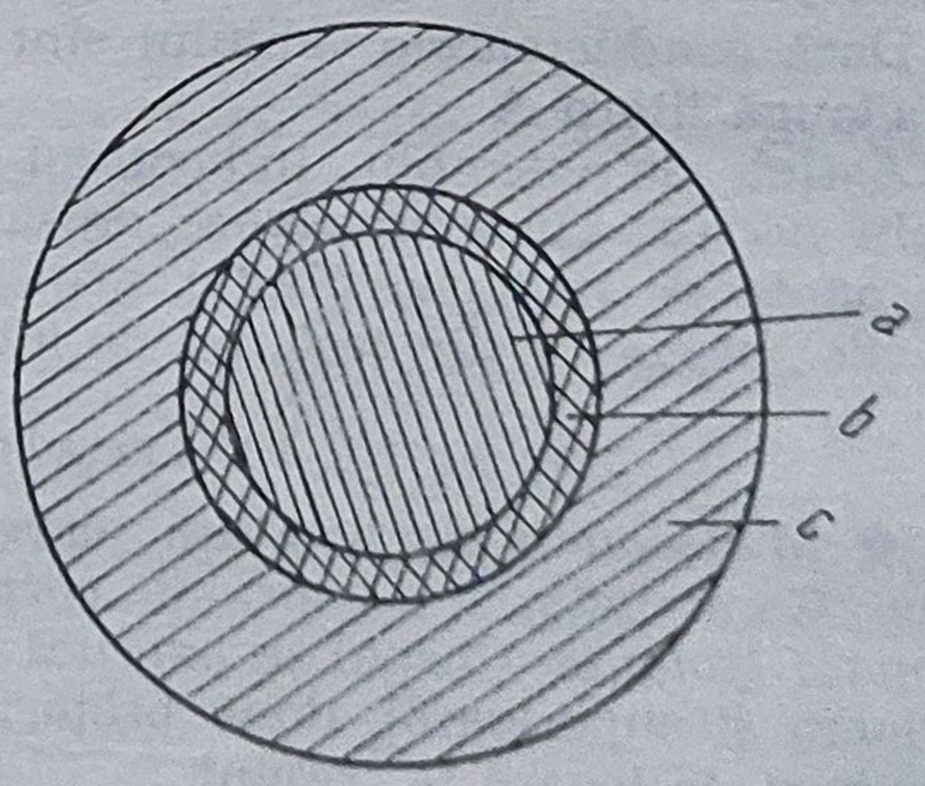


Fig. 10-7. Părțile principale ale unui cablu :
a — partea interioară activă ; b — mantaua de etanșare ; c — învelișurile exterioare de protecție.

Pentru cablurile de forță, materialul izolant cel mai larg folosit este hîrtia impregnantă. Ea se folosește sub formă de benzi, de grosimi variind între 0,1 și 0,3 mm și lățimi între 10 și 30 mm, înfășurate în jurul conductoarelor în mai multe straturi, în funcție de tensiunea cablului.

La cablurile obișnuite pînă la 10 kV, conductoarele, după ce au fost izolate separat, sînt apoi înmănunchiate și înfășurate la un loc într-un înveliș format din mai multe straturi de hîrtie impregnată, denumit de centură sau izolație comună.

Cablurile izolate în mase plastice, deși introduse în exploatare de puțin timp, se impun totuși prin înaltele lor calități.

Materialul folosit pentru execuția mantalei cablurilor electrice pînă la cele mai înalte tensiuni, a fost și este plumbul, deși el prezintă defectul unei structuri cristaline, care îl face să nu reziste în bune condiții la tracțiune și torsiune.

La cablurile sub presiune de ulei sau de gaz, la care mantaua de plumb este supusă unor solicitări mecanice mult mai mari, se iau măsuri de întărire a ei cu benzi metalice sau prin alte mijloace.

● Pentru **identificarea cablurilor de construcție normalizată** se folosește o serie de litere convenționale.

Se folosesc litere mari, dispuse într-o anumită ordine. Sistemul indicativ folosit în Republica Socialistă România este următorul :

— prima literă din indicativ poate fi C și ea arată că este vorba de un cablu cu conductoare de cupru ;

— a doua literă arată felul izolației ; pentru izolația de hîrtie se folosește litera H ; pentru izolația de material plastic se folosește litera Y ;

— a treia literă arată felul mantalei : P — pentru manta de plumb ; Y — pentru manta de material plastic ; A — pentru manta de aluminiu ;

— a patra literă este B și arată existența armăturii metalice (dacă este cazul) ;

— a cincea literă este I și ea se adaugă dacă există învelișuri exterioare protectoare din iută impregnată.

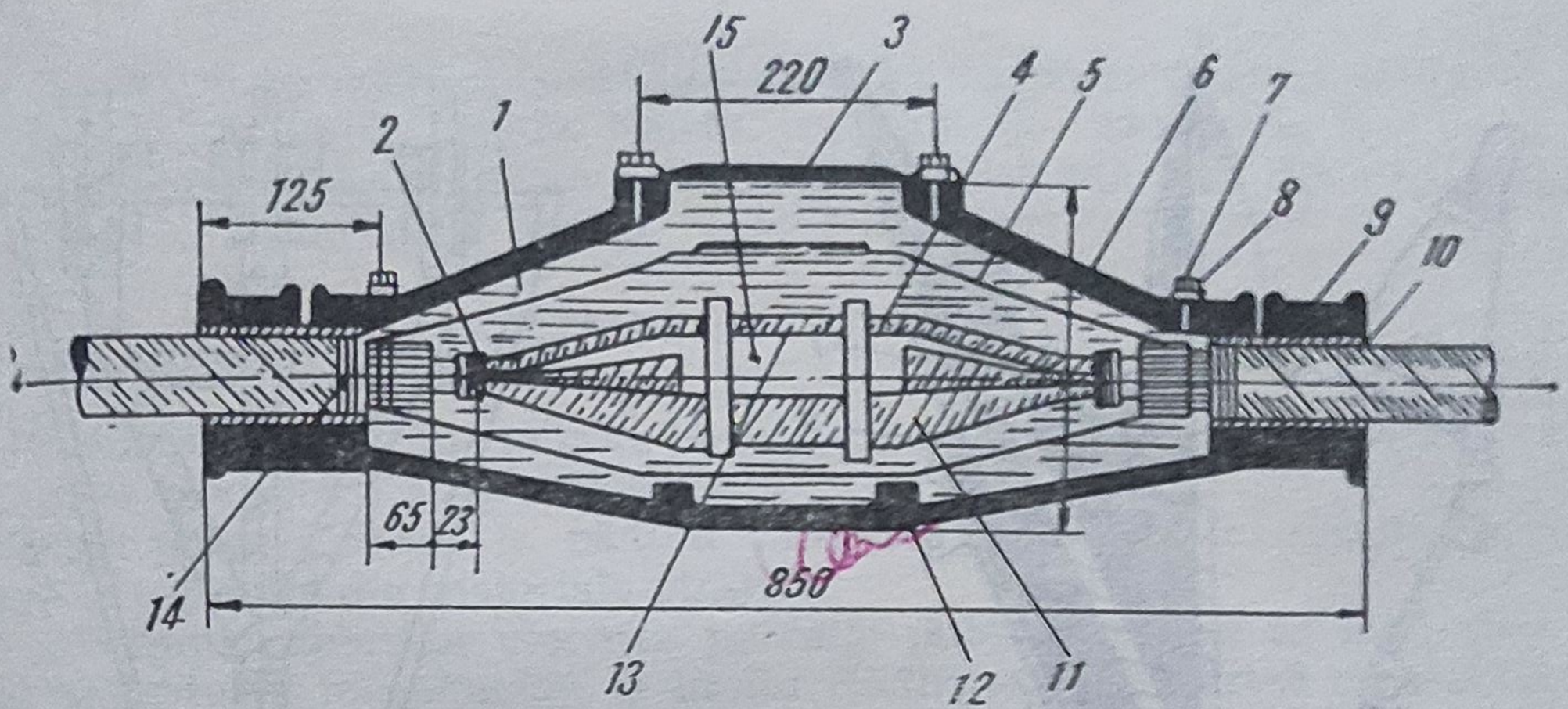
Dacă conductoarele cablului sînt din aluminiu, înaintea acestor litere se adaugă litera A.

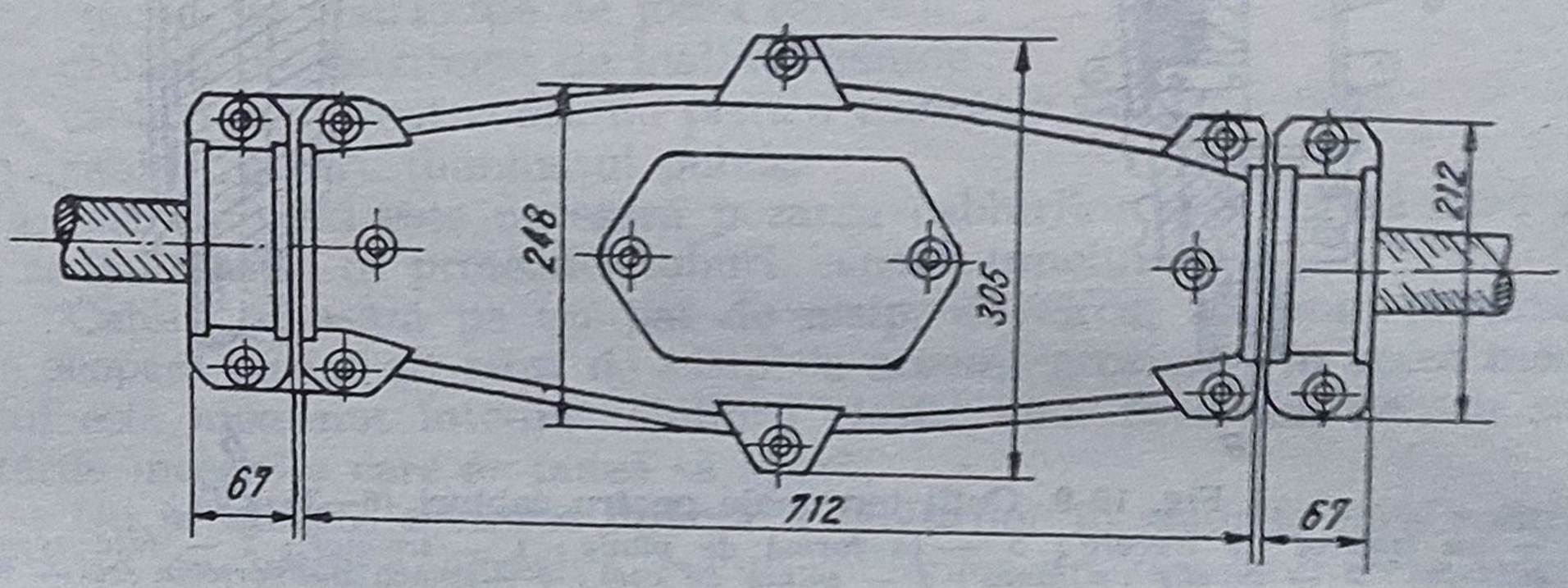
Astfel, de exemplu, indicativul CYYBI arată că este vorba de un cablu normal cu conductoare de cupru, cu izolație de material plastic, cu manta de material plastic, armătură exterioară din bandă de oțel și înveliș protector din țesătură de iută.

2. MANȘOANE DE LEGĂTURĂ ȘI CUTII TERMINALE

● **Manșoanele de legătură** servesc la legarea în prelungire a cablurilor. Construcția lor cuprinde *corpul* manșonului, *clemele de legătură* și *masa izolantă*. Corpul se execută din fontă cenușie, are două părți (inferioară și superioară), două brățări pentru prinderea cablurilor și două șuruburi de legare la pămînt.

După executarea legăturilor, manșoanele se umplu cu o masă izolantă, care prin încălzire devine fluidă ; ulterior, prin răcire, ea se solidifică și fixează poziția conductoarelor în interiorul manșonului. Turna-





b

Fig. 10-8. Manșon de legătură (6 kV):
a — secțiune ; 1 masă izolantă ; 2 — sfoară impregnată ; 3 — capac ; 4 — înfășurare cu hîrtie uleiată ; 5 — cămașă de plumb ; 6 — partea superioară ; 7 — legătură cu pămîntul ; 8 — șurub de legare la pămînt ; 9 — brățară ; 10 — carton gudronat ; 11 — masă izolantă ; 12 — partea inferioară ; 13 — clemă de legătură ; 14 — sîrmă galvanizată ; 15 — conductor ; b — vedere de sus.

rea masei izolate se face încet, pentru ca ea să poată pătrunde în toate părțile, eliminînd complet aerul din manșon.

În figura 10-8 se poate vedea un manșon de legătură.

● **Cutia terminală,** denumită uneori și capăt sau manșon terminal, constituie elementul constructiv prin care un cablu este racordat la o instalație electrică cu conductoare neizolate. Tehnologia de execuție a cutiilor terminale este, în general, similară cu a manșoanelor de înnădire, diferite de acestea mai mult prin forma lor, care este adaptată funcțiunii pe care o îndeplinesc. O clasificare principală împarte cutiile în două categorii mari :

— *cutii terminale pentru exterior ;*
— *cutii terminale pentru interior.*

Tipul și execuția unei cutii terminale este în general adaptată tipului de cablu pe care se montează (fig. 10-9).

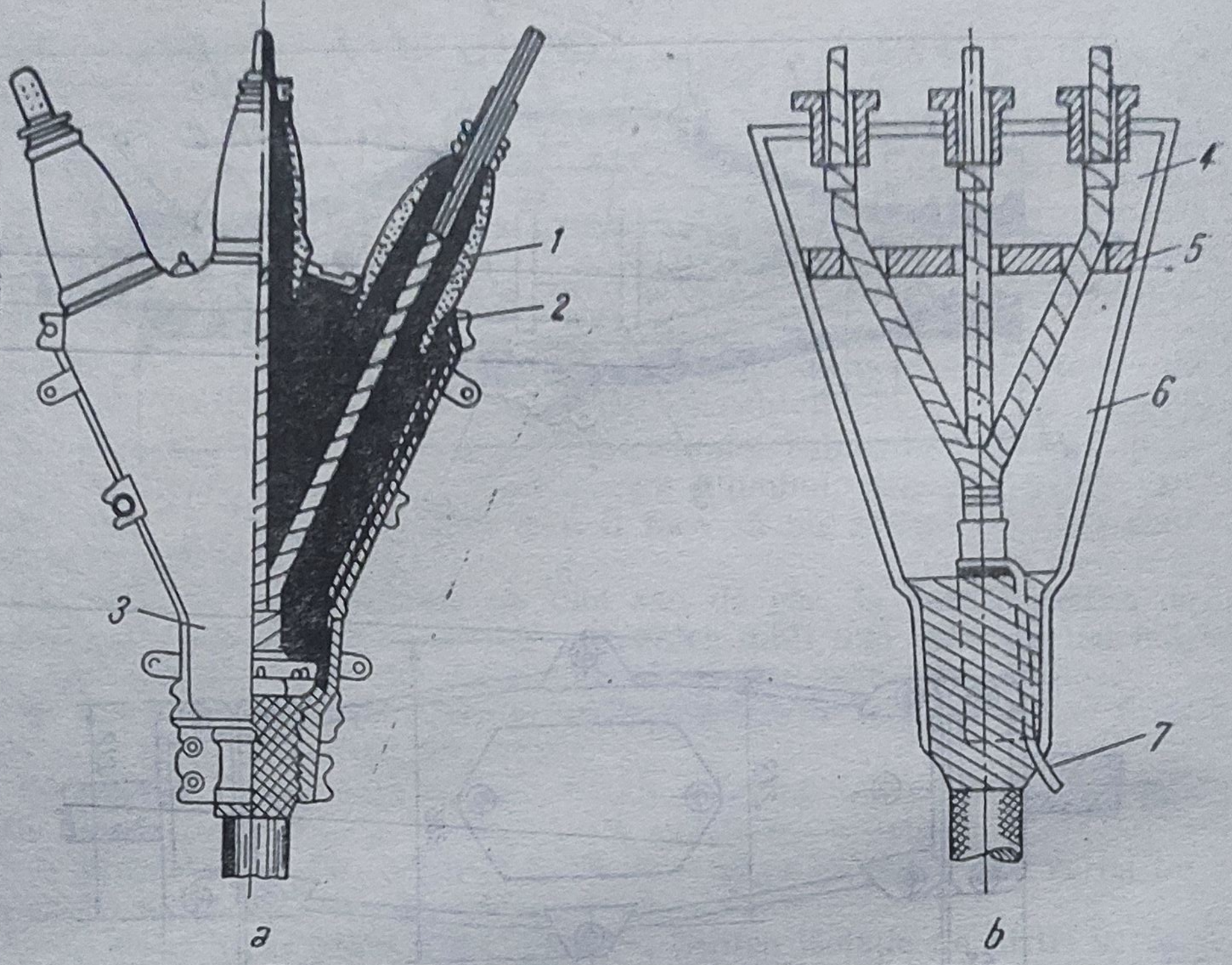


Fig. 10-9. Cutii terminale pentru cabluri (6—35 kV) :

a — cu izolator de trecere ; b — în formă de pîlnie ; 1 — izolator ; 2 — fază separată a cablului ; 3 — înveliş de fontă ; 4 — pîlnie de oţel ; 5 — placă de porţelan ; 6 — masă izolantă ; 7 — legătură la pămînt.

3. TRANSPORTUL CABLURILOR ŞI SĂPAREA ŞANŢURILOR

Cablurile sînt înfăşurate pe tambure.

Distanţe foarte scurte, în depozit, sau la locul de pozare, tamburele sînt deplasate manual prin rostogolire. Transportul propriu-zis al tamburelelor se execută însă cu autocamioane, remorci rutiere, sau cu vagoane de cale ferată.

Incărcarea şi descărcarea tamburelor trebuie executată în mod normal cu mijloace mecanizate : în depozite — cu macarale fixe, iar pe şantier — cu automacarale.

Se menţionează că tamburele care rămîn în depozit mai mult trebuie rotite cu 180° din 6 în 6 luni.

In timpul transportului cu vagonul, autocamioane sau remorci, tamburele trebuie ancorate puternic pe platforma de transport şi calate pentru a se evita rotirea lor, care poate produce accidente.

Operaţia de aşezare a cablurilor în poziţia de funcţionare, inclusiv lucrările de executare a profilului şi de protejare a traseului poartă denumirea curentă de *pozare*.

16.2/32

Cea mai mare parte a cablurilor electrice se pozează subteran fie direct în pămînt, fie în canale, tunele, conducte de beton sau ţevi metalice. Din această cauză, săparea şanţurilor constituie una din operaţiile principale la lucrările de pozare.

4. POZAREA CABLURILOR

Principalele condiţii tehnice pentru pozarea directă în pămînt a cablurilor electrice sînt următoarele :

— Se pozează direct în pămînt cablurile armate cu învelişuri exterioare şi cablurile din materiale plastice.

— Pozarea cablurilor electrice pe căile publice se face în mod obişnuit pe trotuare începînd de la limita clădirilor spre partea carosabilă, la o distanţă minimă de clădiri de 0,8 m ; cablurile electrice sînt primele instalaţii montate în subsolul străzilor în ordinea următoare :

— cabluri de distribuţie de joasă tensiune ;
— cabluri de distribuţie de înaltă tensiune ;
— cabluri de curent continuu pentru tramvaie sau troleibuze ;
— cabluri pentru iluminatul public.

În cazurile cînd este necesară pozarea cablurilor sub partea carosabilă, se iau măsuri de protecţie (tuburi, canale, tuneluri etc).

— Cablul se aşază pe un pat de nisip, de circa, 100 mm grosime, şi se acoperă cu un alt strat de nisip de aceeaşi grosime ; în acest mod, cablul este menţinut într-un echilibru elastic, mai favorabil pentru solicitările mecanice care ar putea să apară.

— Nu se admite aşezarea directă a cablurilor în solurile care conţin substanţe cu acţiune agresivă (soluri organice în descompunere, var, soluri cu conţinut de acizi etc.).

— Adîncimea minimă de pozare a cablurilor admisă în ţara noastră este de 0,7 m pentru cabluri pînă la 15 kV, şi de 1 m pentru cabluri de 20—35 kV ; pe porţiuni scurte, pînă la 5 m, la intersecţii cu construcţii subterane sau la intrarea în clădiri, se admite în mod excepţional o adîncime de 0,5 m.

— Distanţele pe orizontală între diferite cabluri şi între ele şi alte instalaţii sînt de asemenea reglementate.

— În cazul că nu pot fi respectate distanţele minime indicate de norme, trebuie prevăzuţi între cabluri pereţi despărţitori verticali sau orizontali (dacă se execută pozarea etajată) sau cablurile trebuie aşezate în tuburi ; între cablurile de tensiuni diferite se montează totdeauna un perete de cărămidă, indiferent de distanţa între ele.

— Distanţa între cabluri şi conductele termice trebuie să fie de minimum 2 m ; cînd nu se poate respecta această distanţă pe lungimea de paralelism, conducta termică trebuie izolată în aşa fel încît să nu producă o supraîncălzire a solului mai mare de 10°C.

În timpul operaţiilor, o atenţie specială trebuie dată manevrării cabului, care se comportă ca un material fragil. Trebuie absolut evitate îndoirile periculoase, care pot apărea fie în timpul manevrării, fie sub greutatea proprie, din lipsa numărului suficient de muncitori, şi

care pot duce la frînarea cablului. Razele minime de curbură admise sînt stabilite atît prin prescripţiile de montaj cît şi prin instrucţiunile fabricilor constructoare.

În lucrările de pozare trebuie respectată temperatura minimă admisă de prescripţii sau de instrucţiunile fabricii constructoare. Astfel, pentru cablurile cu izolaţie de hîrtie şi manta de plumb, în lipsa altor indicaţii temperatura minimă admisă în timpul pozării poate fi considerată —5°C. În cazul în care pozarea se execută la temperaturi mai scăzute, cablul trebuie să fie în prealabil încălzit, astfel ca să aibă sub mantaua de plumb o temperatură de circa 25°C. Încălzirea se face fie electric, fie prin depozitarea tamburelor cu cablu într-o hală cu o temperatură de 25—30°C, timp de 36—48 ore. Încălzirea tamburelor poate fi făcută şi în cabine sau alt gen de încălzitoare special amenajate, în care se realizează, prin diferite mijloace fără flacără (cu abur, termosuflante etc.), o temperatură de circa 40°C. În timpul încălzirii, protecţia periferică din scînduri trebuie scoasă.

Pozarea cablurilor trebuie executată la cel mult o oră de la încălzire. Pentru aceasta se iau măsuri speciale, folosindu-se şi un efectiv mai mare de muncitori. Şanţul se astupă cu pămînt dezgheţat.

După aşezarea în poziţie definitivă, cablul se acoperă cu un strat de nisip de 100 mm, după care se aşază cărămizile de protecţie, conform profilului stabilit prin proiect. Se menţionează că atît patul, cît şi stratul de acoperire de nisip pot fi înlocuite, după indicaţiile proiectantului, cu pămînt curat, mărunt, eventual cernut.

O dată profilul realizat, pămîntul rezultat din săpătură se aruncă în şanţ. El se bate în straturi de 20—30 cm, cu maiuri manuale sau mecanice, fiind şi umezit, dacă este cazul. Şanţul se umple pînă aproape de nivelul solului şi apoi se lasă cîteva zile să se taseze.

După aceea se reface pavajul. În cazul pavajului de asfalt pe pat de beton refacerea se execută pe o lăţime mai mare decît cea a şanţului.

CAPITOLUL XI

STAȚII ȘI POSTURI DE TRANSFORMARE

A. ROLUL ȘI CLASIFICAREA STAȚIILOR

1. GENERALITĂȚI

O stație de conexiune și transformare reprezintă un ansamblu de instalații electrice și cuprinde aparate de conectare, comandă, măsurat și protecție. Prin intermediul acestora, energia electrică care sosește de la surse (centrale electrice) este repartizată spre diferite circuite. În stații se produce uneori și transformarea sau convertirea energiei electrice. Într-un sistem energetic, stațiile de conexiune și transformare permit alimentarea sistemului de la diferite centrale sau, uneori, de la toate centralele racordate la acel sistem energetic. În figura 11-1 sînt reprezentate stațiile de conexiune și transformare ale unui sistem energetic.

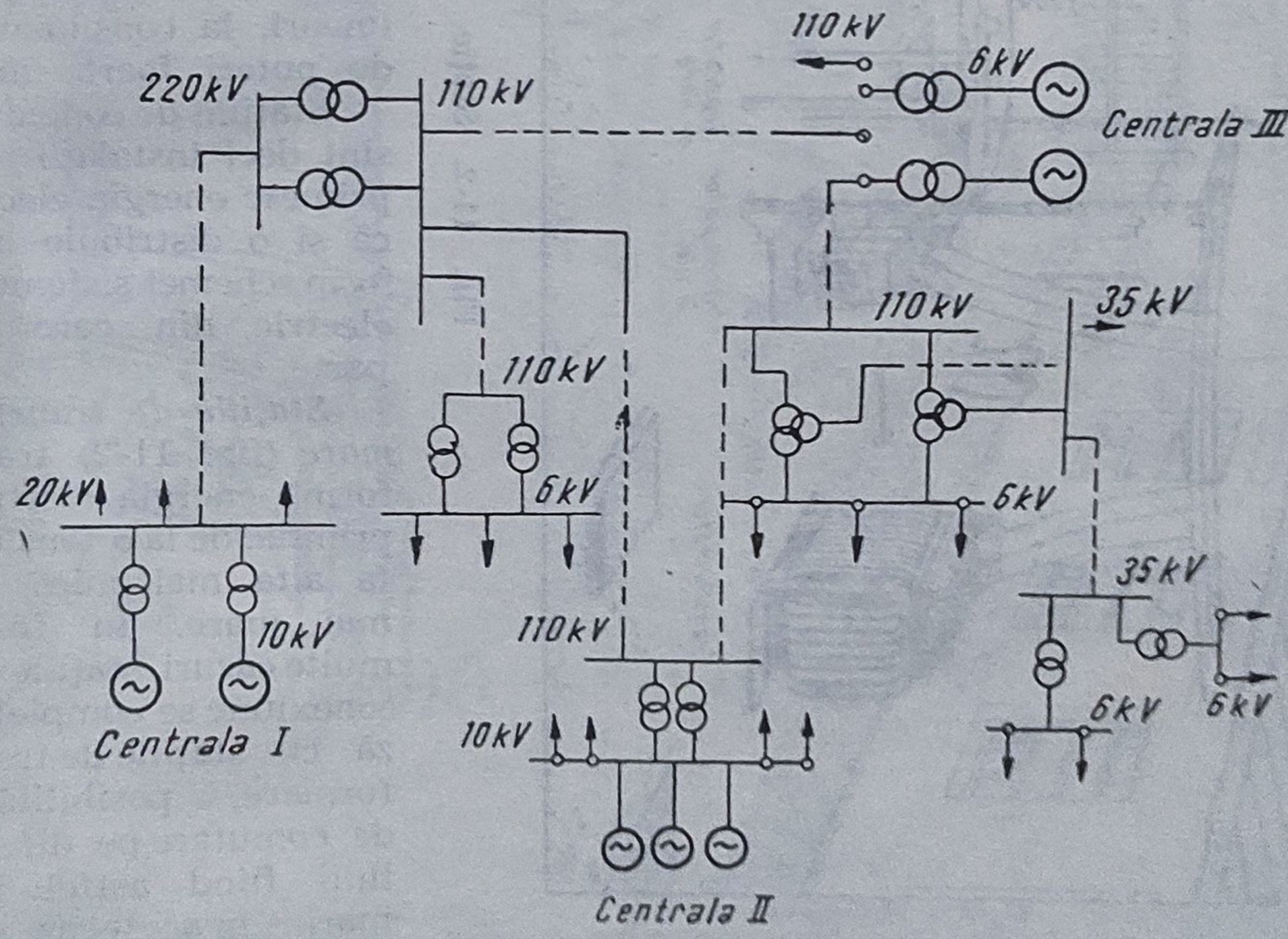
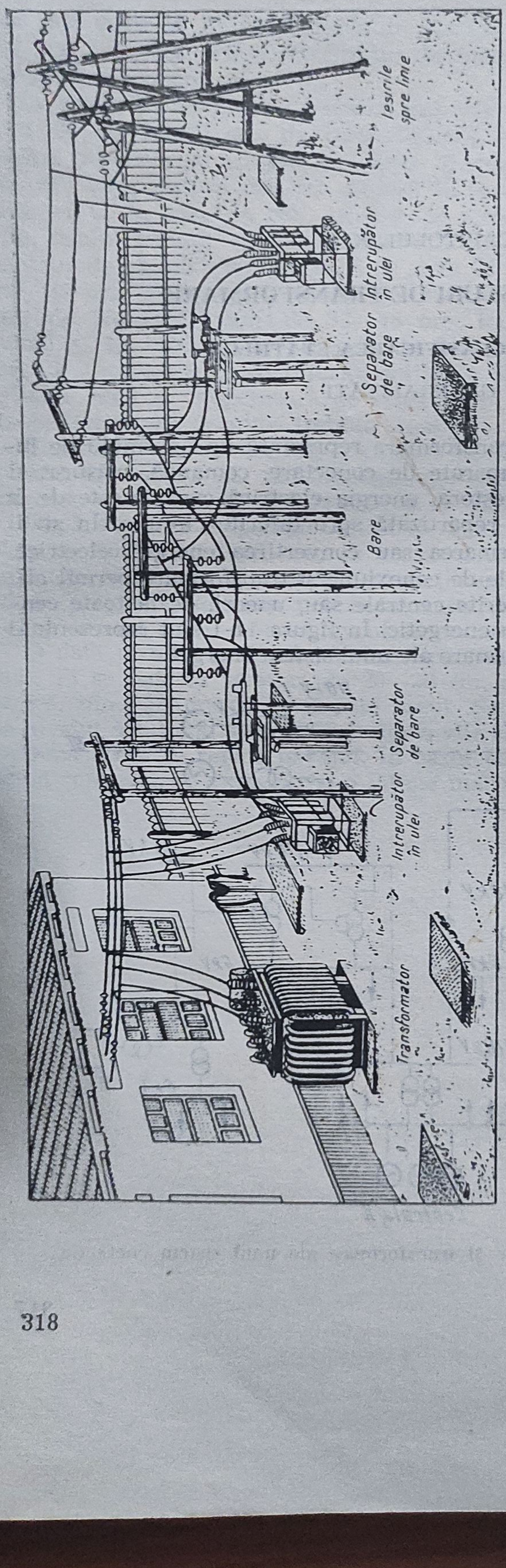


Fig. 11-1. Stațiile de conexiune și transformare ale unui sistem energetic.



Stație de transformare.

Fig. 11-2. Stație de transformare.

Stația de conexiune și transformare poate cuprinde: transformatoare, convertizoare (numai cînd este necesară transformarea curentului alternativ în curent continuu), aparate de conectare (întreruptoare și separatoare), aparate de protecție, instrumente de măsurat, aparate de comandă și semnalizare, o rețea de cabluri și o serie de instalații anexe.

Mașinile, aparatele și instrumentele de măsurat sînt amplasate în încăperi diferite.

Stațiile de conexiune și transformare se amplasează pe lîngă centralele electrice, în punctele principale ale rețelelor electrice și, uneori, la consumatorii de puteri foarte mari.

Stațiile de conexiune sînt deci instalații care primesc energia electrică și o distribuie conform schemei sistemului electric din care fac parte.

Stațiile de transformare (fig. 11-2) transformă energia electrică primită, de la o tensiune la alta mai mică sau mai mare. În foarte multe cazuri, stațiile de conexiune se completează cu stațiile de transformare, posibilitățile de comutare pe diferite linii fiind astfel mai mari ; în acest caz este vorba de *o stație de conexiune și transformare.*

Fig. 11-3. Posturi de transformare :

a — post de transformare pe stîlpi ; b — schema monofilară a unui post de transformare pe stîlpi ; c — post de transformare în construcție zidită ; d — schema monofilară a unei cabine de transformator.

Stațiile coborîtoare care alimentează direct instalațiile de utilizare — a căror tensiune secundară este mai mică decît 1 000 V — se numesc *posturi de transformare* (fig. 11-3).

2. CLASIFICAREA STAȚIILOR

Clasificarea stațiilor se poate face după mai multe criterii.

● **După funcțiunile pe care le îndeplinesc,** stațiile pot fi :

— stații de transformare, la care se urmărește ridicarea sau coborîrea tensiunii, pentru a lega între ele circuite electrice cu tensiuni diferite ;

— stații de conexiune, prin care se fac legături între diferite circuite la aceeași tensiune ;

— stații de conexiune și transformare, care pot îndeplini ambele funcțiuni arătate mai sus.

● **Din punct de vedere constructiv,** stațiile se pot clasifica în :

— stații de tip interior, instalate în clădire ;
— stații de tip exterior, instalate în aer liber ;
— stații din celule prefabricate.

● **După tensiunea nominală,** stațiile pot fi :

— stații cu tensiuni pînă la 10 kV inclusiv ;
— stații cu tensiuni pînă la 35 kV inclusiv ;
— stații cu tensiuni peste 110 kV.

● **După felul curentului,** se deosebesc :

— stații de curent continuu ;
— stații de curent alternativ.

● **După sistemul de bare,** stațiile pot fi :

— stații cu sistem simplu de bare ;
— stații cu sistem dublu de bare.

B. SCHEME DE ALCĂTUIRE A STAȚIILOR

La clasificarea stațiilor s-a arătat că, după sistemul de bare, adică după principala caracteristică a schemei electrice, stațiile pot fi cu sistem simplu de bare sau cu sistem dublu.

1. STAȚIILE CU SISTEM SIMPLU DE BARE

Stațiile cu sistem simplu de bare sînt folosite la instalațiile electrice de mică importanță, care alimentează consumatori ce admit oarecare întreruperi în furnizarea energiei electrice.

● **Racordul generatoarelor și al transformatoarelor** (fig. 11-4) **la barele colectoare** se face prin cîte un întreruptor și un separator de bare. Dacă transformatorul utilizat este de putere mică, pentru a se reduce costul instalației se utilizează siguranțe fuzibile în locul întreruptoarelor. Separatorul de bare are rolul de a separa aparatele electrice ale circuitului respectiv de tensiunea barelor, permițînd astfel verificarea și repararea pie-

selor defectate. În serie cu întreruptorul, în partea opusă separatorului de bare al circuitului, se montează de obicei transformatoarele de măsură respective (de intensitate și de tensiune).

● **Racordul dintre barele colectoare și liniile aeriene sau cabluri** se face prin același echipament. În cazul cînd există posibilitatea de a se întoarce pe linie o tensiune periculoasă din rețea, la intrarea liniei în stație se mai prevede un separator. Acesta este separatorul de linie, prevăzut cu cuțite principale și cu cuțite care permit legarea la pămînt a liniei, după ce a fost deconectată de la bare. Cînd linia nu este în funcțiune, separatorul este deschis și împiedică pătrunderea în instalație a supratensiunilor datorite perturbărilor electrice atmosferice.

● **Montarea separatoarelor.** Deconectarea unei linii se face declanșînd în primul rînd întreruptorul, după care se deschide întîi separatorul de linie și apoi separatorul de bare.

În stațiile electrice, *separatoarele de bare* sînt montate sub bare, deci la înălțime, în timp ce *separatoarele de linie* sînt montate mai jos și mult mai aproape de locul unde se face acționarea lor. Din acest motiv, la acționarea manuală a separatoarelor, deschiderea sub sarcină a unui separator de linie este mult mai periculoasă pentru personalul din exploatare decît deschiderea unui separator de bare, care se află mai departe de cel ce face manevra.

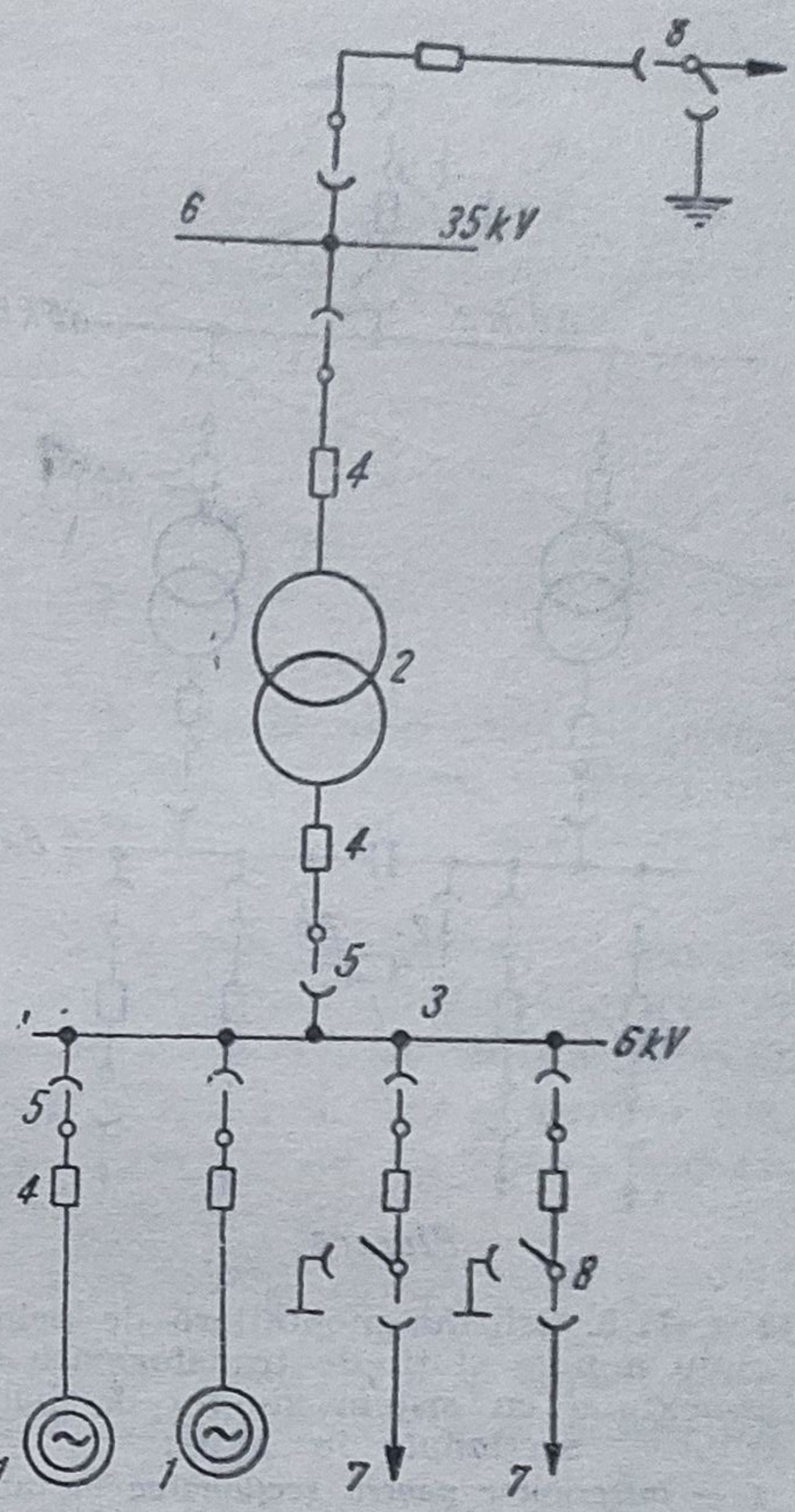


Fig. 11-4. Schema monofilară de principiu a unei stații de conexiuni și transformare cu sistem simplu de bare nesecționat :
1 — generator ; 2 — transformator ; 3 — bare colectoare 6—10 kV ; 4 — întreruptoare ; 5 — separatoare de bare ; 6 — bare colectoare de 35 kV ; 7 — plecare în linie ; 8 — separator de linie.

● **Stațiile cu sistem simplu de bare colectoare prezintă două neajunsuri** importante :

— reviziile planificate ale instalației necesită întreruperea integrală a funcționării instalației ;

— un defect pe bară, atît la separatoarele de bare cît și la bornele întreruptoarelor, determină declanșarea tuturor întreruptoarelor celulelor cuplate la bare și, prin aceasta, întreruperea funcționări instalației.

Pentru a remedia în parte aceste neajunsuri, se prevede uneori secționarea în lung a barelor colectoare (fig. 11-5), folosind un separator sau două separatoare și un întreruptor.

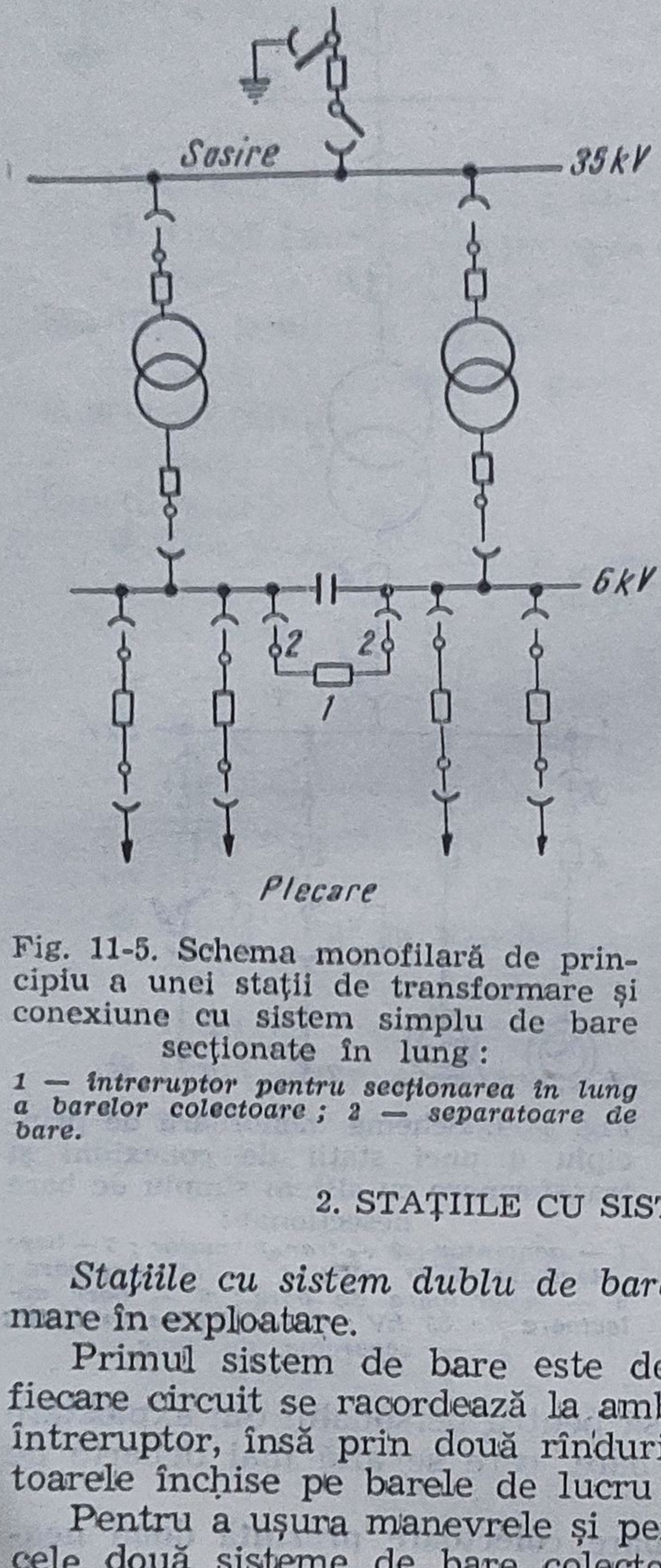


Fig. 11-5. Schema monofilară de principiu a unei staţii de transformare şi conexiune cu sistem simplu de bare secţionate în lung :

1 — întreruptor pentru secţionarea în lung a barelor colectoare ; 2 — separatoare de bare.

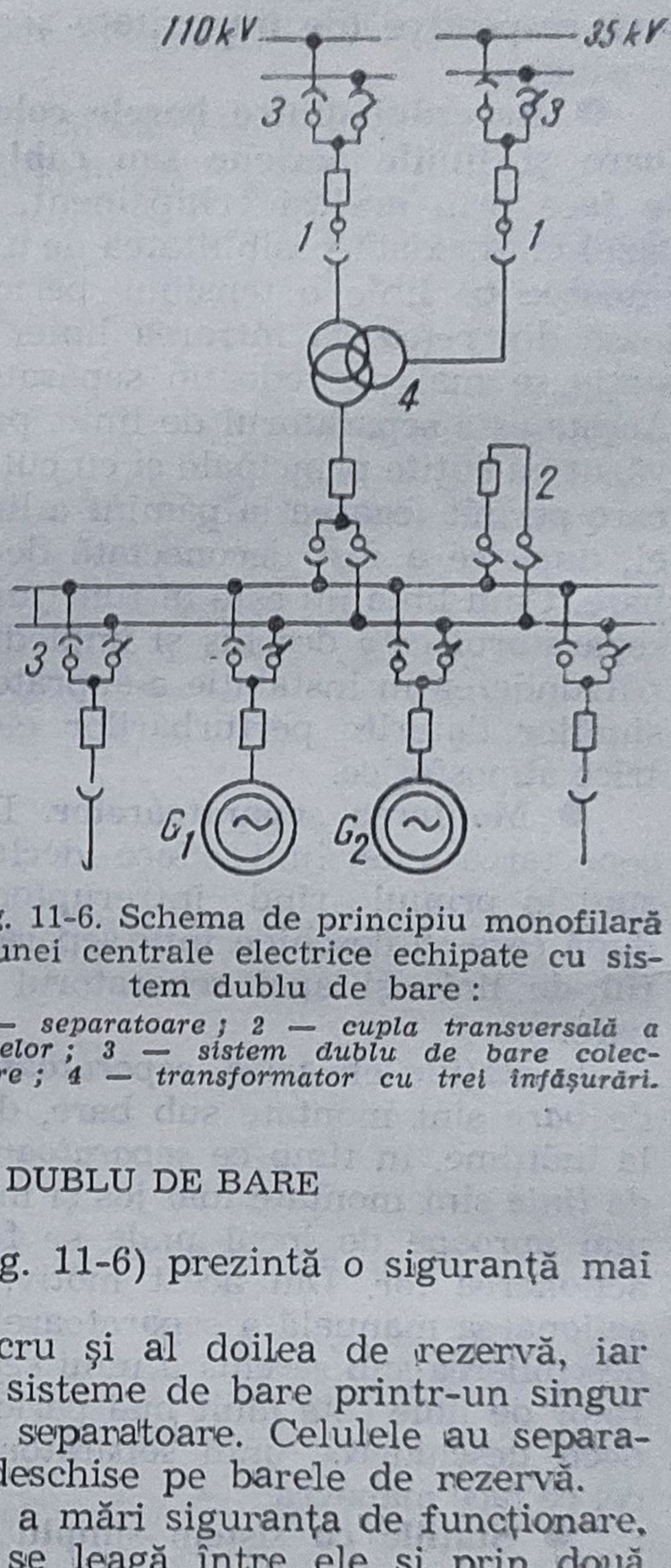


Fig. 11-6. Schema de principiu monofilară a unei centrale electrice echipate cu sistem dublu de bare :

1 — separatoare ; 2 — cupla transversală a barelor ; 3 — sistem dublu de bare colectoare ; 4 — transformator cu trei înfăşurări.

2. STAŢIILE CU SISTEM DUBLU DE BARE

Staţiile cu sistem dublu de bare (fig. 11-6) prezintă o siguranţă mai mare în exploatare.

Primul sistem de bare este de lucru şi al doilea de rezervă, iar fiecare circuit se racordează la ambele sisteme de bare printr-un singur întreruptor, însă prin două rînduri de separatoare. Celulele au separatoarele închise pe barele de lucru şi deschise pe barele de rezervă.

Pentru a uşura manevrele şi pentru a mări siguranţa de funcţionare, cele două sisteme de bare colectoare se leagă între ele şi prin două separatoare şi un întreruptor, acestea formînd cupla transversală a barelor.

● **Avantajele prezentate de sistemul de alimentare cu bare duble** sînt următoarele :

— intrarea rapidă în funcţiune a instalaţiei, după un defect la barele colectoare de serviciu ;

— reparaţia sau revizia planificată a instalaţiei, fără a-i întrerupe funcţionarea ;

— înlocuirea pentru reparaţii a întreruptorului unei linii prin întreruptorul cuplei ;

— repararea oricărui separator de bare, întrerupîndu-se numai alimentarea celulei respective ;

— alimentarea a două grupe de consumatori în condiţii diferite de tensiune, situaţie care se poate prezenta atunci cînd consumatorii se află atît în imediata vecinătate a staţiei cît şi la o depărtare mai mare de ea.

C. CONSTRUCŢIA STAŢIILOR

1. GENERALITĂŢI

Instalaţiile de distribuţie interioare se folosesc în mod obişnuit pentru tensiuni pînă la 35 kV inclusiv. Ele se folosesc şi pentru tensiuni mai ridicate, la instalaţiile echipate cu întreruptoare moderne, care ocupă un volum redus.

Instalaţiile de distribuţit exterioare sînt recomandabile pentru tensiuni ridicate, de ordinul 35—220 kV, numai cînd reducerea cheltuielilor pentru construcţia clădirilor depăşeşte creşterea costului echipamentului special de tip exterior. Instalaţiile exterioare sînt folosite uneori şi pentru tensiuni de 6—15 kV, în cazul staţiilor de transformare de putere redusă, cum sînt, de exemplu, staţiile rurale şi suburbane.

Instalaţiile de distribuţie trebuie să îndeplinească următoarele *condiţii principale* : să prezinte o bună siguranţă în funcţionare ; să permită deservirea cu uşurinţă a instalaţiei, să asigure securitatea personalului de deservire ; construcţia şi exploatarea instalaţiei să fie mai economică.

2. INSTALAŢII INTERIOARE

Gabaritele tipurilor constructive ale instalaţiilor interioare sînt determinate de tensiunea nominală şi de complexitatea schemei de conexiuni.

Complexitatea schemei determină de cele mai multe ori construcţia clădirii instalaţiei, care poate fi numai cu parter sau cu unul sau două etaje.

● **Instalaţiile de distribuţie cu tensiuni pînă la 500 V** pot fi sub forma unor *tablouri de distribuţie*, care se amplasează în interiorul clădirilor, în locurile cele mai convenabile.

Tabloul de distribuţie este format dintr-un schelet metalic din oţel cornier, care susţine echipamentul electric şi panoul din tablă, de oţel, fixat în partea din faţă. Pe panoul din faţă se montează în partea superioară aparatele de măsurat, iar sub acestea, manetele întreruptoarelor cu pîrghie. Restul echipamentului — barele colectoare, întreruptoarele, siguranţele fuzibile, reductoarele de măsură, contoarele — se montează în spatele panoului (fig. 11-7).

● **O variantă a instalaţiei de distribuţie de 6—15 kV, cu întreruptoare cu ulei mult** este reprezentată în figura 11—8. Barele colectoare sînt simple, iar clădirea instalaţiei nu posedă decît parter.

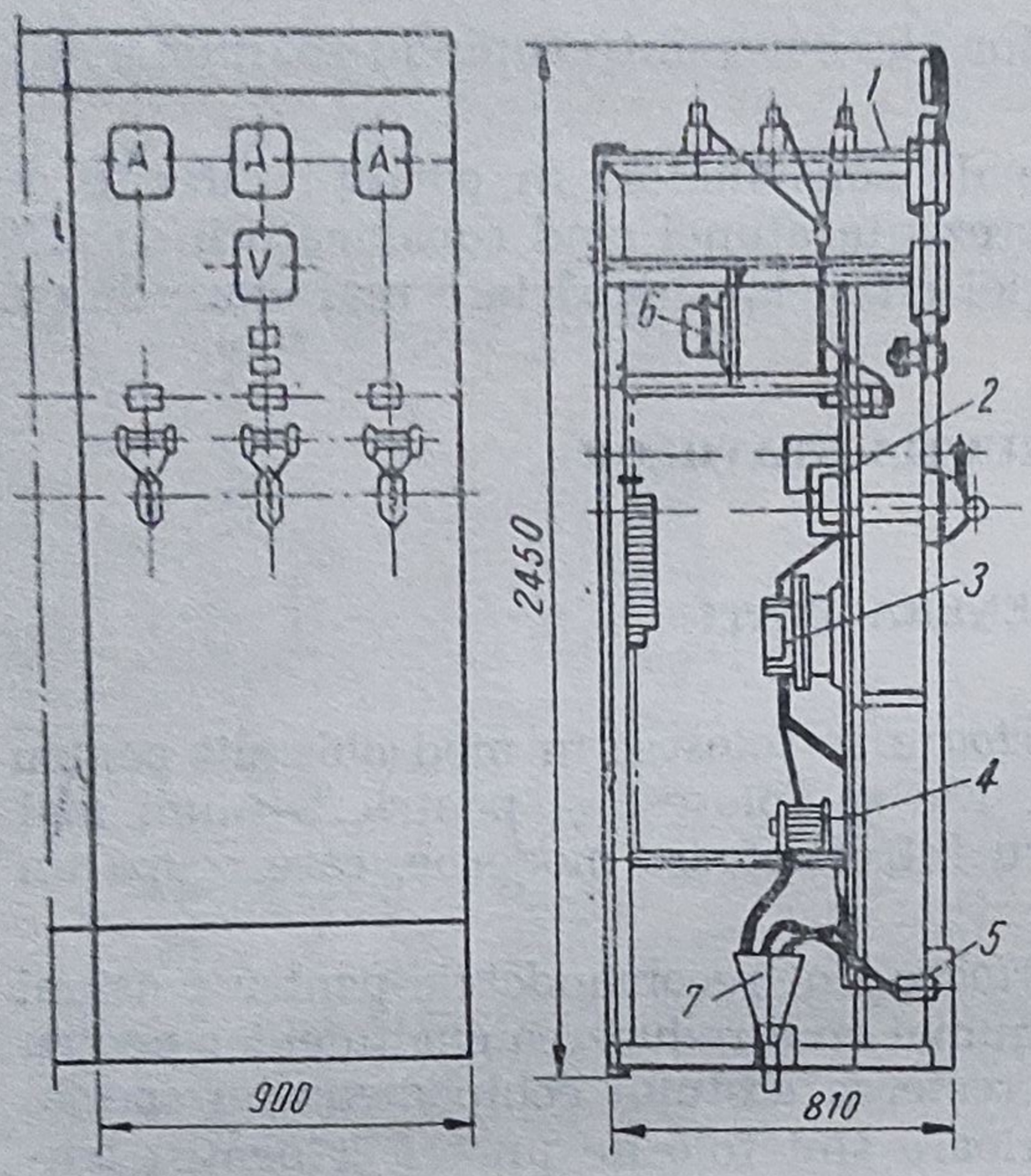


Fig. 11-7. Tablou de distribuţie:
1 — bare colectoare; 2 — întreruptor pîrghie; 3 — siguranţe; 4 — transformator de curent; 5 — bară de nul; 6 — contoare; 7 — cutie terminală.

Construcţia este monolită, avînd pereţi despărţitori de cărămidă şi beton armat. Celulele sînt dispuse pe două rînduri dat fiind numărul lor mare. Între cele două rînduri de celule există un coridor comun de deservire, cu o lăţime de 2 m.

Pe partea dinspre coridor a camerelor sînt situate aşa numitele antecelule, separate între ele prin pereţi uşori şi despărţite de coridorul de deservire printr-un perete uşor, care înconjoară ca o centură toate celulele. În antecelule sînt instalate separatoarele de bare, reductoarele de intensitate de tipul izolatorilor de trecere, separatoarele de linie şi cutiile terminale ale cablurilor. În partea de jos a antecelulelor, sub planşeul parterului, se execută un canal de 1 m adîncime care serveşte pentru montarea cutiilor terminale şi scoaterea cablurilor. Pe peretele dinspre coridor al antecelulelor sînt instalate dispozitivele de acţionare a întreruptoarelor, precum şi aparatele de măsurat, releele de protecţie cele mai simple şi lămpile de semnalizare.

● **O altă variantă** frecvent întîlnită **a instalaţiei de distribuţie de 6—15 kV, cu bare duble şi reactoare de linie,** poate fi montată într-o clădire cu parter şi două etaje, iar celulele sînt prefabricate şi asamblate la faţa locului.

La etajul II sînt amplasate sistemele de bare şi separatoarele.

La etajul I sînt situate camerele întreruptoarelor, despărţite de coridorul central şi de camerele vecine prin pereţi masivi şi despărţite de coridoarele laterale prin uşi cu plasă metalică. Dispozitivele de acţionare a întreruptoarelor şi separatoarelor de bare sînt situate pe pereţii masivi ai coridorului central de la etajul I. Tot pe aceşti pereţi sînt dispuse şirurile de cleme ale circuitelor secundare. Cablurile de control sînt instalate într-o galerie situată sub planşeul etajului I, în dreptul coridorului central. Galeria de cabluri trece prin casa scării şi ajunge la blocul tabloului de comandă, situat într-unul din capetele clădirii instalaţiei de distribuţie.

La parter există un singur culoar central de deservire. Două camere laterale sînt utilizate fie pentru circuitele de plecare în cablu, fie pentru circuitele de alimentare de la transformatoare.

În afara celulelor pentru echipamentul liniilor, instalaţia descrisă mai posedă celule pentru reductoarele de tensiune ale barelor şi liniilor, pentru descărcătoare etc.

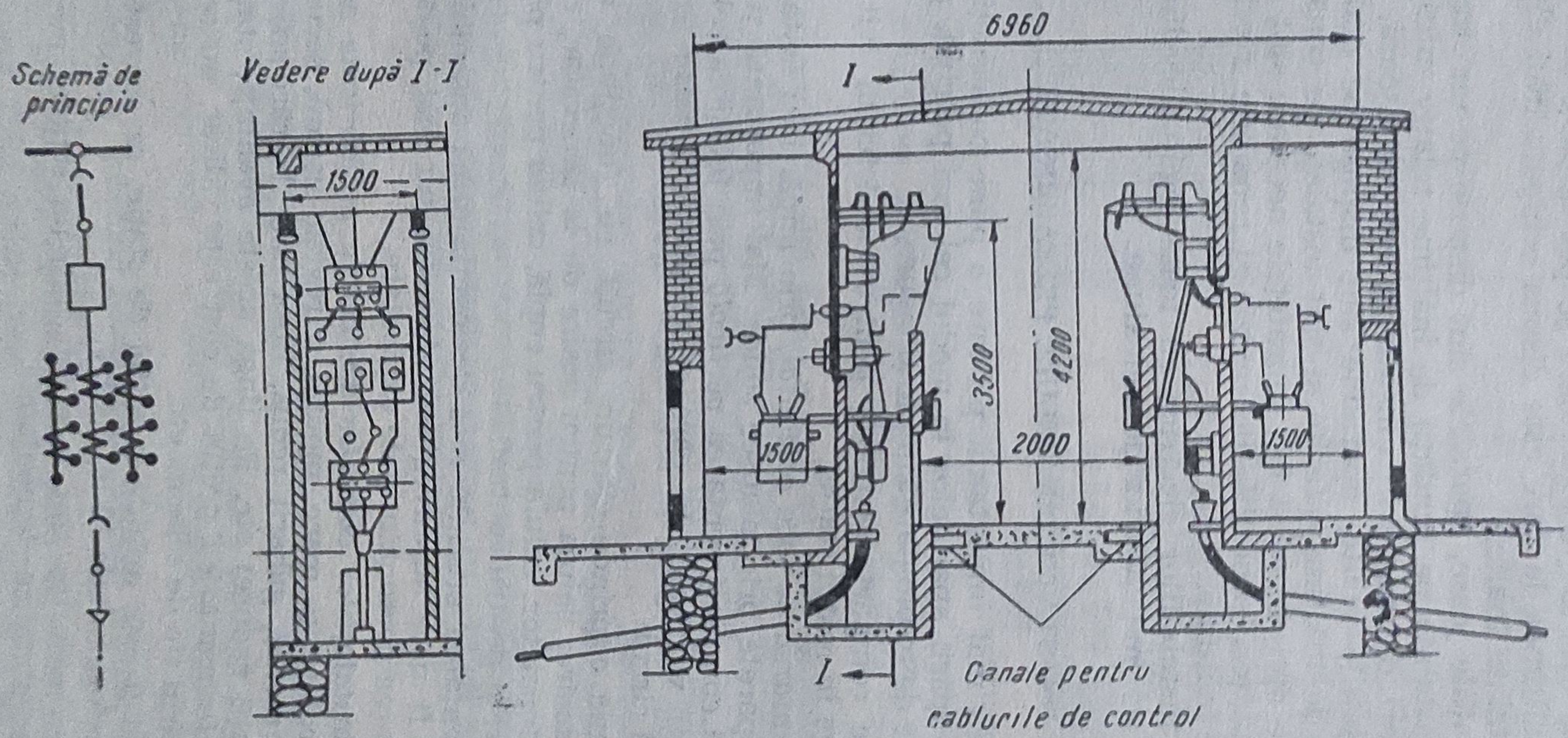


Fig. 11-8, Instalație de distribuție de 6—15 kV, cu întreruptoare cu ulei mult.

3. INSTALAȚII EXTERIOARE

Instalațiile de distribuție exterioare se pot împărți în două categorii, în funcție de înălțimea la care este dispus echipamentul electric : instalații joase și instalații înalte.

● La **instalațiile joase,** aparatele sînt dispuse pe un singur plan orizontal și sînt instalate pe fundații de înălțime relativ mică. Suprafețele necesare sînt mari, dar deservirea instalației este mai ușoară.

● La **instalațiile înalte,** aparatele sînt dispuse pe mai multe planuri orizontale de înălțimi diferite și sînt instalate pe construcții înalte și complicate de oțel. În acest fel, suprafețele necesare sînt mai mici ; în schimb se înrăutățesc condițiile de revizie și reparație a echipamentului instalat la mare înălțime.

Elementele instalațiilor electrice cu toate legăturile dintre ele, sînt reprezentate în scheme electrice de conexiune.

4. STAȚII DIN CELULE PREFABRICATE

Problema cea mai importantă pe care o pune construcția unei stații este aceea a grupării aparatelor în modul cel mai potrivit, pentru realizarea condițiilor de exploatare simple și sigure.

Instalația se compartimentează, pentru ca defectul ivit într-un loc să nu se propage în restul stației.

Compartimentarea se face *orizontal,* prin împărțirea instalației pe mai multe etaje, separate prin planșee solide. Mai importantă și mai des întîlnită este însă compartimentarea *verticală* prin folosirea celulelor (separate prin pereți verticali), în care se grupează o parte sau totalitatea aparatelor unui circuit.

Fiecare celulă cuprinde cîte un circuit cu funcțiune determinată ; celula pentru sosire, celula pentru sosire de la generator, celula pentru racord și transformator, celula pentru cuplă, celula pentru plecare, celula pentru măsurări și pentru control.

Compartimentarea prezintă însă dezavantajul că ansamblul instalației nu mai poate fi ușor supravegheat, deoarece nu mai poate fi imediat cuprins de vederea personalului de exploatare.

Utilizarea instalațiilor compuse din celule prefabricate asigură multe *avantaje,* ca : robustețe mare, montaj și revizie ușoară, securitate deosebită pentru personal, gabarit redus, lipsa unor lucrări speciale de construcție (fundații reduse) etc. Pe lîngă aceste avantaje, stațiile prezintă însă și unele *dezavantaje :* prețul de cost este ridicat, nu se pretează la alcătuirea oricărui tip de schemă etc.

În figura 11-9 este arătată o astfel de stație, ce servește în general ca post de transformare de 10 (6)/0,4 kV.

Celulele de acest tip sînt formate dintr-un schelet metalic și acoperit cu panouri metalice, demontabile.

Celulele sînt construite uneori din două părți : una fixă (conținînd barele, contactele separatorului, eventual cutia terminală a cablului și

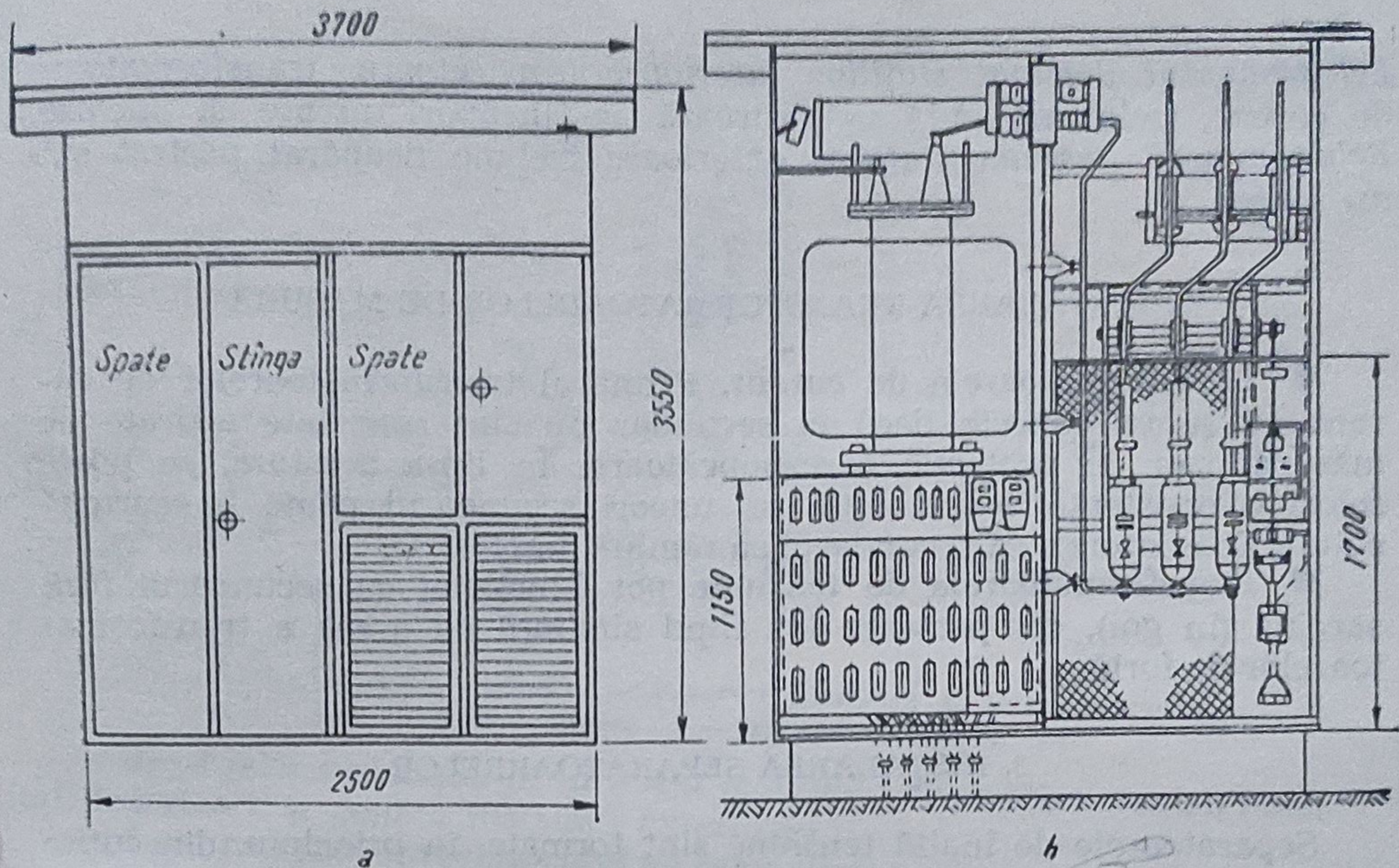


Fig. 11-9. Post de transformarei în cabină metalică :
a — vedere din față ; b .— secțiune longitudinală.

aparatele de măsurat) și altă parte mobilă cu roți de rulare (cuprinzînd întreruptorul și dispozitivul său de acționare, cu semnalizarea poziției lui, releele respective și transformatoarele de măsură).

Barele colectoare ale celulelor se prind între ele la capete cu șuruburi de strîngere și, uneori, barele se introduc în tuburi de bachelită, pentru a împiedica producerea unui arc electric între ele. Aceasta permite revizia unei celule interioare, chiar dacă celelalte celule sînt sub tensiune.

D. INSTALAREA TRANSFORMATOARELOR, APARATELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE ȘI A DISPOZITIVELOR ANEXE ÎN STAȚII ȘI POSTURI DE TRANSFORMARE

1. GENERALITĂȚI

Echipamentul electric al stațiilor și posturilor de transformare trebuie montat cu o deosebită grijă.

În perioada de organizare și de pregătire a lucrărilor de montaj, *una dintre măsurile principale* o constituie *organizarea păstrării echipamentului electric.*

Pînă la instalare, întregul echipament trebuie păstrat în conformitate cu instrucțiunile tehnice ale fabricii producătoare. *Piesele izolatoare confecționate din izoplac sau textolit* trebuie păstrate în hîrtie uleiată sau în hîrtie parafinată. Dacă aceste piese sînt destinate să funcționeze în ulei, se recomandă ca ele să fie introduse, în cazul cînd depozitarea va fi de durată mai mare, într-o cuvă cu ulei deshidratat.

Echipamentul destinat staţiilor interioare (separatoare, transformatoare de curent, izolatoare etc.) se păstrează în încăperi uscate şi închise. *Echipamentul destinat staţiilor exterioare* trebuie neapărat păstrat sub un şopron.

2. INSTALAREA TRANSFORMATOARELOR DE MĂSURĂ

● **Transformatoarele de curent.** Primarul transformatoarelor de curent nu se va conecta dacă în secundar nu sînt conectate aparate de măsurat sau de protecţie corespunzătoare. În lipsa acestora, se poate folosi o rezistenţă echivalentă sau uneori secundarul poate fi scurtcircuitat. Este interzis ca secundarul să rămînă deschis.

● **Transformatoarele de tensiune** pot funcţiona cu secundarul fără sarcină (în gol), comportarea lor fiind similară cu aceea a transformatoarelor de forţă.

3. INSTALAREA SEPARATOARRELOR

Separatoarele de înaltă tensiune sînt formate, în principiu, din cuţite metalice, montate în capul unor izolatoare suport, care pot intra în contactele unor furci montate pe alte izolatoare suport. Cuţitele se pot scoate din furci prin rotirea lor.

Un separator tripolar este reprezentat în figura 11-10.

Sistemele de contact ale celor trei faze sînt montate pe un cadru. Acţionarea separatoarelor se face manual sau prin servomotor.

● **Acţionarea manuală a separatoarelor.** Separatoarele pentru tensiunii cuprinse între 3 şi 10 kV şi curenţi de 200—1 000 A se manevrează în general cu ajutorul unor dispozitive de acţionare manuală.

Clasificarea dispozitivelor pentru acţionarea manuală a separatoarelor se poate face după următoarele criterii :

— *după construcţia dispozitivului* se deosebesc : prăjini (ştăngi) pentru acţionare (pentru separatoare pînă la 35 kV inclusiv) ; dispozitive cu pîrghie ; dispozitive cu transmisie prin melc-roată melcată ; dispozitive cu volan ;

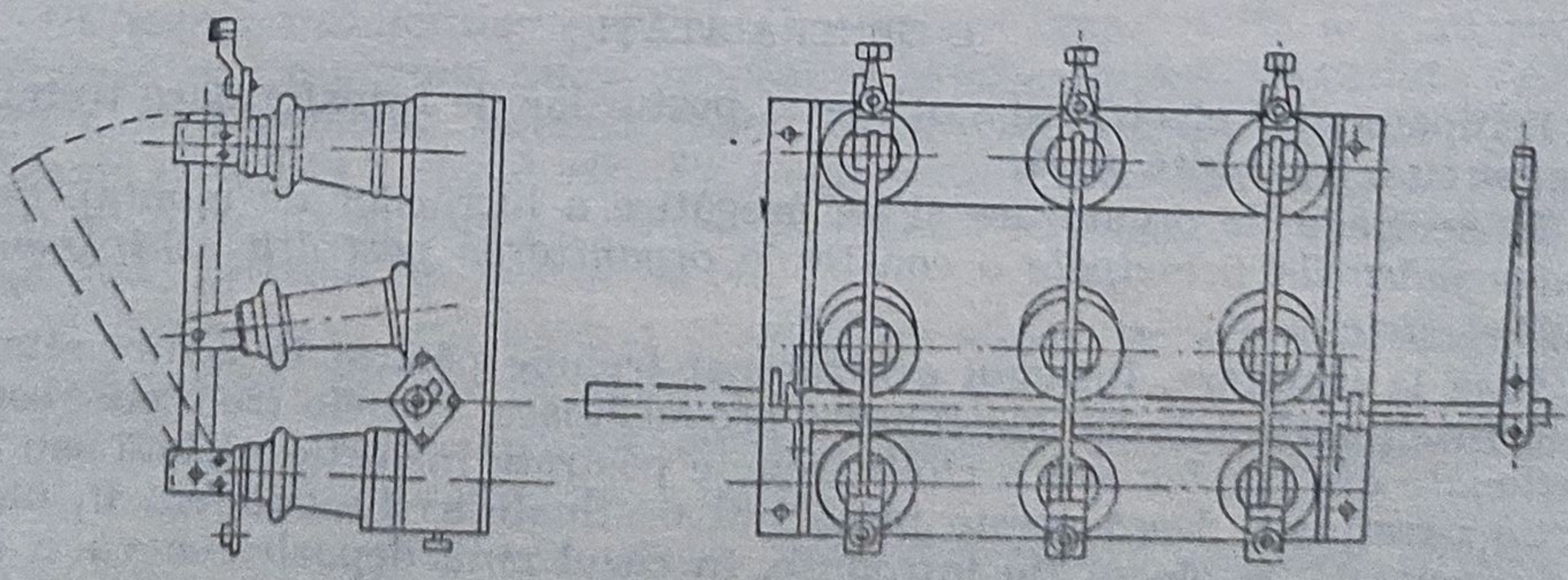


Fig. 11-10. Separator tripolar de interior.

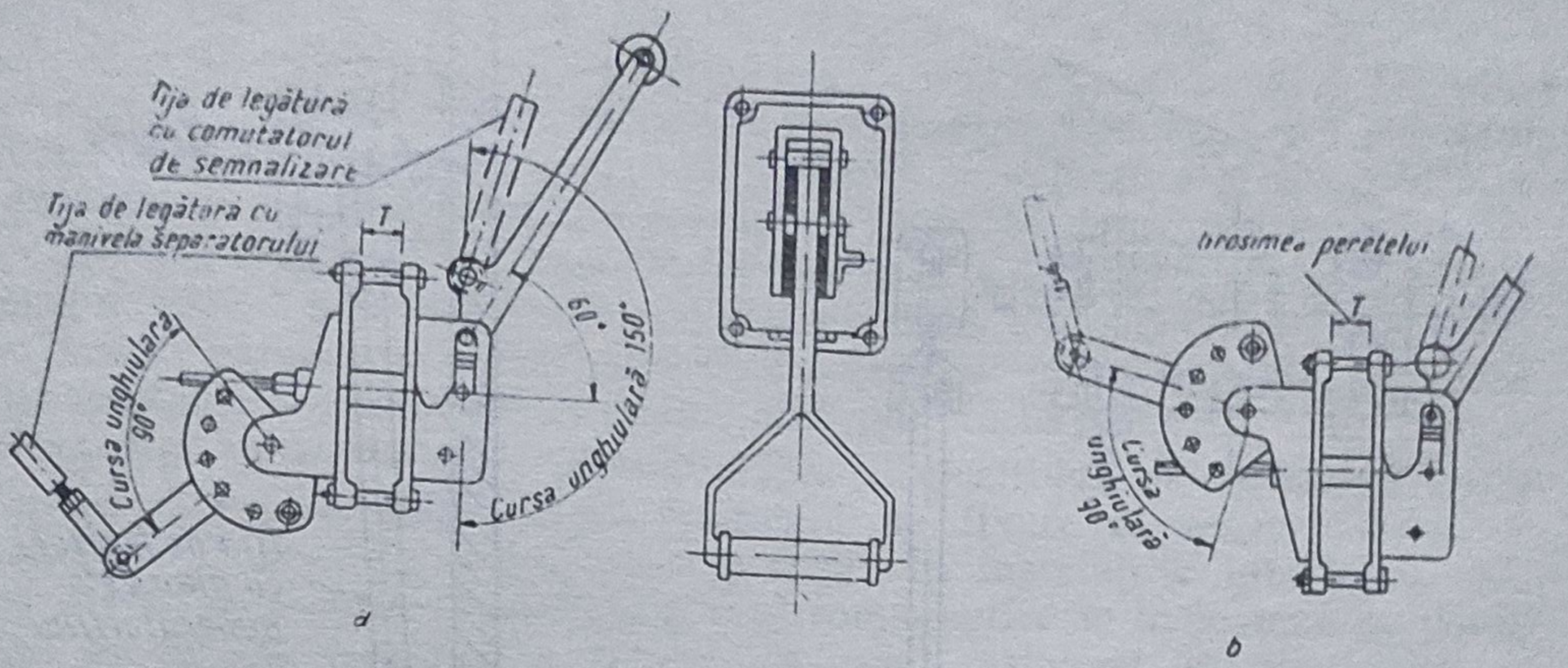


Fig. 11-11. Dispozitiv pentru acționarea manuală a separatoarelor :
a — asamblare directă ; b — asamblare inversă.

— *după felul instalației în care sînt montate* : dispozitive pentru instalații interioare și pentru instalații exterioare ;

— *după prezența comutatorului de semnalizare* : dispozitive fără comutator de semnalizare și cu comutator de semnalizare.

Prăjina de acționare este confecționată din tub de pertinax lăcuit sau din lemn sănătos, impregnat, lustruit și lăcuit. La partea superioară are un cîrlig metalic, care se introduce în inelul fixat de cuțitul separatorului.

Pentru instalațiile interioare pînă la 10 kV, lungimea prăjinii trebuie să fie de minimum 1 500 mm, iar pentru cele pînă la 35 kV, de minimum 2 200 mm. Pentru instalațiile exterioare pînă la 35 kV, lungimea va fi de minimum 2 700 mm.

Construcția unui **dispozitiv cu pîrghie** pentru acționarea separatoarelor este reprezentată în figura 11-11. Transmiterea mișcării de la mînerul de acționare la tija de legătură cu manivela separatorului se face prin intermediul unei prăjini, care străbate peretele celulei.

Pîrghia dispozitivului de acționare poate fi montată în diverse poziții. în funcție de condițiile transmisiei la separatoare. Montarea acestor dispozitive este arătată în figura 11-12.

Un alt dispozitiv de acționare a separatoarelor este cel din figura 11-13. La acest dispozitiv, transmiterea mișcării de la mînerul de acționare la tija de legătură cu manivela separatorului se realizează direct. Montarea acestui dispozitiv se face sub separatoare, pe același perete cu ele.

Toate dispozitivele de acționare manuală a separatoarelor de interior și a celor peste 35 kV inclusiv, pentru exterior, cu excepția prăjinilor de acționare, trebuie să asigure posibilitatea cuplării dispozitivului cu comutatorul de semnalizare.

● **Acționarea separatoarelor prin servomotor.** Separatoarele pot fi acționate și prin servomotoare electrice sau pneumatice. Servomotorul acționează, în majoritatea cazurilor, printr-un șurub fără sfîrșit. Acționarea cu servomotor se folosește în special la separatoare de intensități nominale mari.

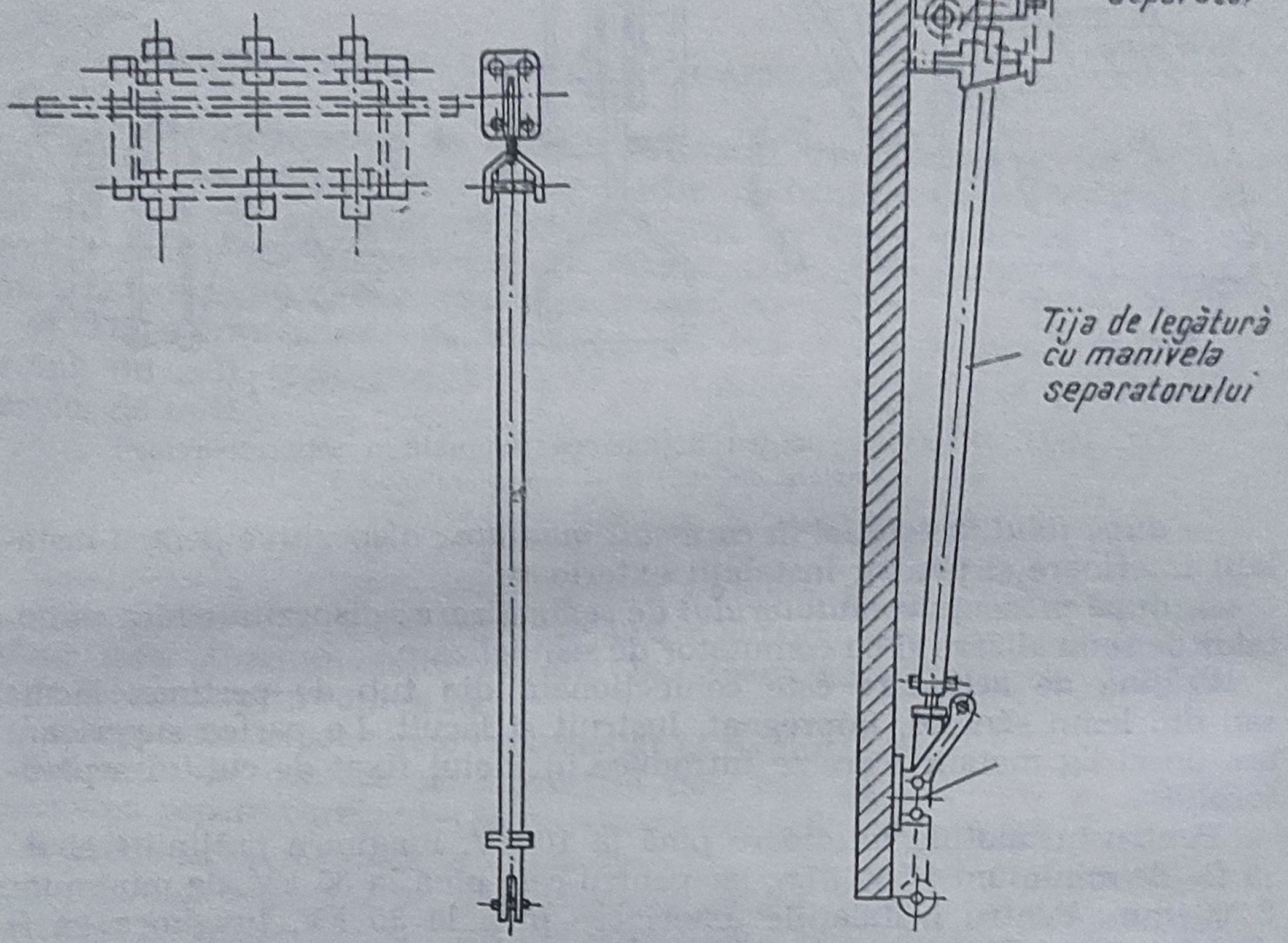


Fig. 11-12. Montarea dispozitivului de acționare cu transmisie prin pîrghie la separatorul tripolar de interior.

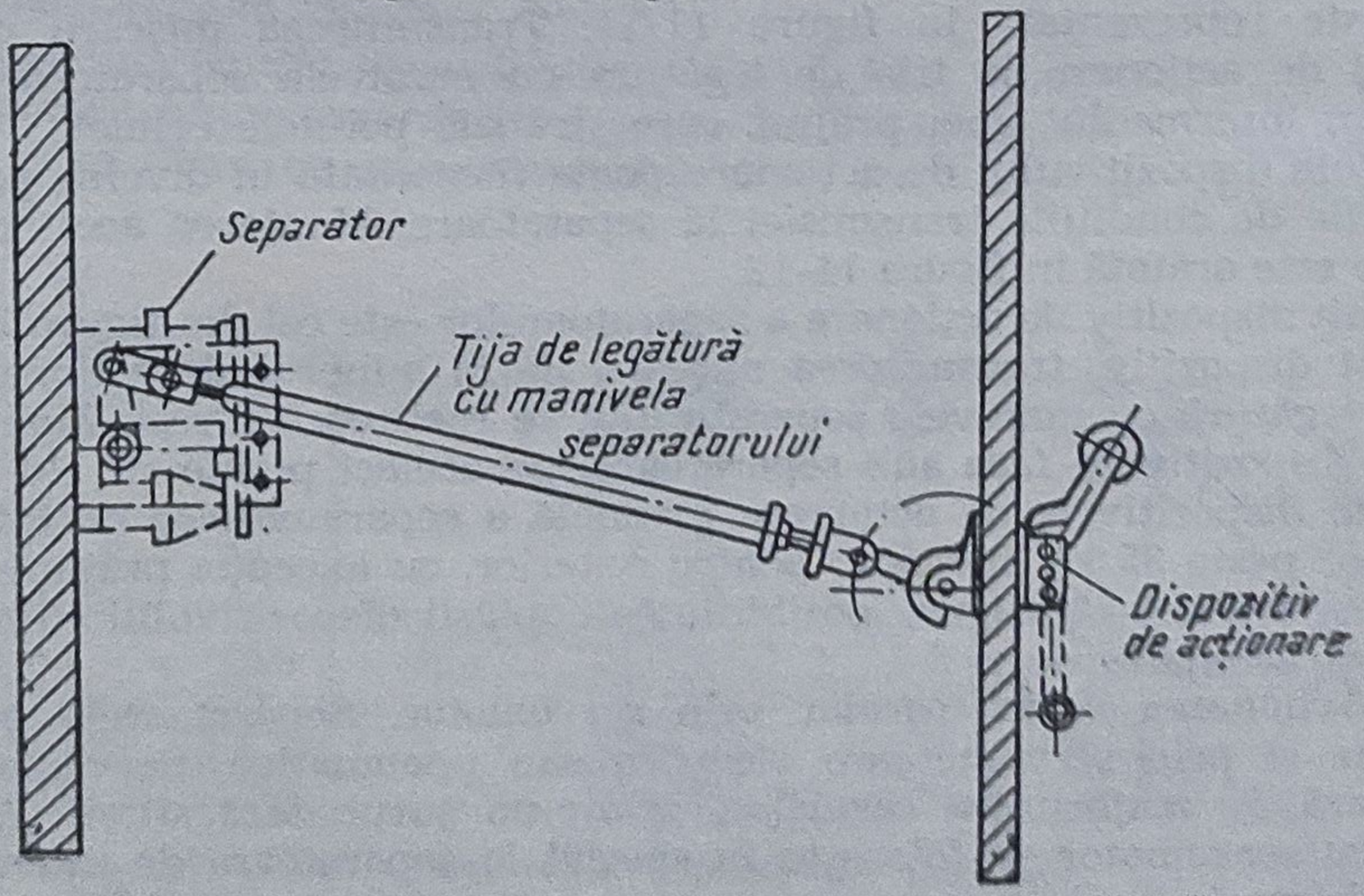


Fig. 11-13. Dispozitiv de acționare cu transmisie directă.

● **Instalarea unui separator** constă în următoarele *operaţii:* ridicarea şi fixarea sa la locul de montaj ; alinierea după axele de simetrie ale celulei şi fixarea soclului (a plăcii) ; verificarea contactelor şi a presiunii pe contact ; instalarea dispozitivului de acţionare şi a lagărelor intermediare ; legarea separatorului cu dispozitivul de acţionare şi cu contactele auxiliare ; reglajul general al separatorului şi al dispozitivului de acţionare.

Trebuie asigurată o foarte bună legare la pămînt a cadrului separatorului, prin intermediul unui conductor fixat cu ajutorul şurubului de punere la pămînt pe cadrul aparatului. Separatoarele montate pe plecările liniilor sînt prevăzute cu contacte de punere la pămînt.

În timpul manevrării separatorului, dispozitivul de acţionare preia sarcini mecanice foarte mari ; sistemul de fixare al dispozitivului de acţionare trebuie să reziste acestor forţe. În instalaţiile interioare, dispozitivele de acţionare manuale şi electromagnetice se instalează pe pereţi sau pe carcasa metalică a celulei. *În cazul instalării dispozitivului de acţionare pe pereţi de beton armat* nu este suficient ca acesta să fie fixat cu buloane. Pentru a se repartiza sarcina pe partea opusă a peretelui, pe o suprafaţă cît mai mare, sub piuliţele buloanelor se pun bucăţi de oţel cornier sau plăci de tablă.

În cazul instalării dispozitivului de acţionare pe o tablă de oţel, este necesar să se folosească corniere, pentru a se rigidiza tabla de susţinere.

În timpul reglajului, mufa de legătură şi pîrghiile de pe axul separatorului se fixează provizoriu cu şuruburi. După ce separatorul şi dispozitivul de acţionare au fost verificate în ansamblu şi reglate, mufa (sau capul pîrghiei) se găureşte o dată cu axul şi se fixează cu ştifturi conice.

Sensul de mişcare a pîrghiei sau volanului dispozitivului de acţionare şi a axului său în timpul manevrelor trebuie să fie stabilit precis şi, să fie acelaşi pentru toate aparatele. Din acest punct de vedere, prescripţiile prevăd următorul sens de mişcare a organelor de manevră (privind dinspre manevrant) : la anclanşare, volanul se mişcă în sensul orar, iar la declanşare, în sensul antiorar. Dacă dispozitivul este comandat de un mîner sau de o pîrghie, la anclanşare ele trebuie manevrate în sus sau la dreapta, iar la declanşare, în jos sau la stînga. Manevrele de închidere şi deschidere trebuie executate dintr-o singură mişcare ; unghiul de rotire a pîrghiei (volanului) nu trebuie să depăşească 180°.

Contactele auxiliare folosite în circuitele de semnalizare şi de comandă trebuie montate numai pe peretele din faţă al coridorului de manevră, în apropierea dispozitivului de acţionare. Axul contactelor auxiliare trebuie solidarizat cu axul dispozitivului printr-o tijă scurtă, rigidă (de maximum 250 mm). În staţiile exterioare, contactele auxiliare trebuie montate în acelaşi dulap cu dispozitivul de acţionare.

4. INSTALAREA SIGURANŢELOR

Din considerente economice, în instalaţiile de înaltă tensiune de mai mică importanţă se folosesc siguranţe fuzibile în locul întreruptoarelor automate.

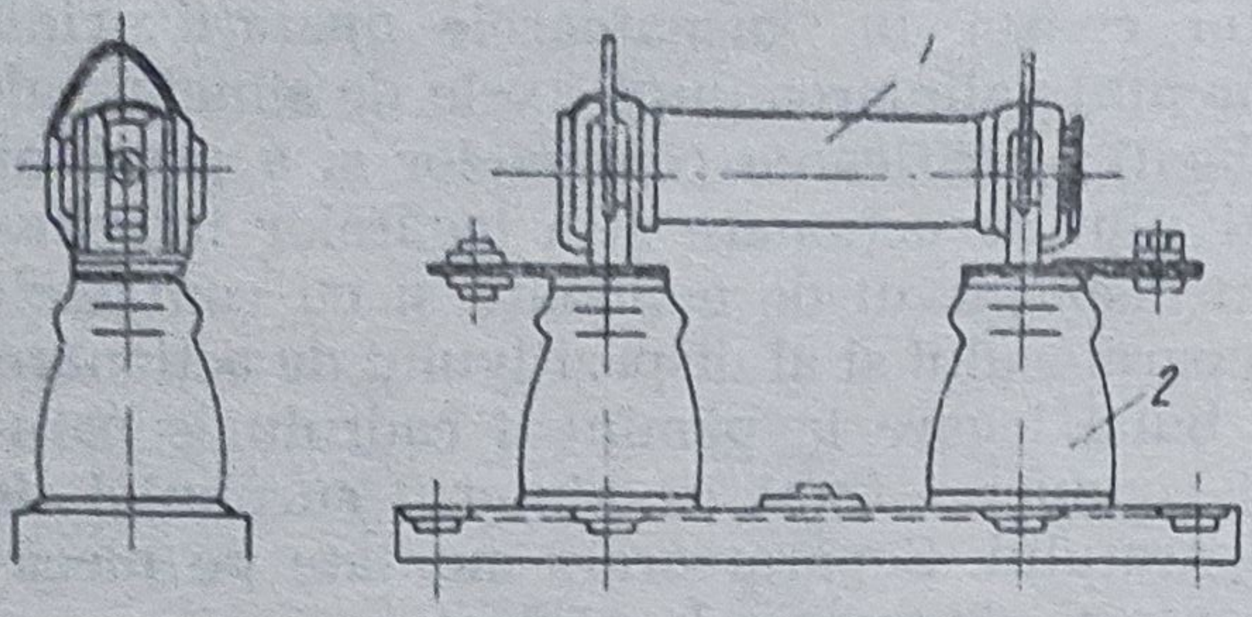


Fig. 11-14. Siguranță de înaltă tensiune : *1 — patron ; 2 — suport.*

S-au construit siguranțe fuzibile pentru tensiuni mai înalte decît 100 kV și pentru curenți peste cîteva mii de amperi. În general se construiesc pentru tensiuni de circa 10 kV și intensități de curent nominale pînă la 400 A.

● **Siguranțele de înaltă tensiune** se compun din două elemente principale : potronul siguranței format dintr-un tub de porțelan glazurat, două capace de alamă prevăzute la capete cu cîte un cuțit, un fir fuzibil și nisip de cuarț pentru stingerea arcului ;

— suportul siguranței, compus din placa de bază, izolatoarele de suport și contactele (furcile) — pe care se fixează patronul și care se leagă la instalație. În figura 11-14 se vede o siguranță cu fuzibil pentru stații interioare, utilizată pentru protecția transformatoarelor de forță.

● **Instalarea siguranțelor** diferă puțin de montarea separatoarelor monopolare. De astă dată trebuie respectate în plus următoarele reguli :

— suprafețele suportului superior și inferior ale patronului și ale bornelor de contact trebuie să se găsească strict pe aceeași verticală. Nerespectarea acestei condiții va duce la un contact prost al patronului cu furcile suportului și la supraîncălzirea lor, deci la arderea prematură a fuzibilului ;

— de asemenea, furcile trebuie să arcuiască bine și să cuprindă patronul pe întreaga circumferință ;

— în stații interioare, cadrul cu siguranțe se așază numai în poziție verticală, indicatorul de acționare al fuzibilului fiind îndreptat în jos.

Este necesar să se verifice atent dacă curentul nominal al siguranței corespunde curentului din instalație.

5. INSTALAREA ÎNTRERUPTOARELOR

Întreruptoarele trebuie să suporte efectele care apar la întreruperea sau închiderea unor circuite sub sarcină.

În afara comenzii voite, se mai prevede declanșarea automată a întreruptorului în cazul unor defecțiuni, în scopul protejării rețelei și aparatelor montate pe acestea.

La întreruperea unui circuit electric sub sarcină apare un arc electric, care trebuie stins cît mai rapid, pentru a se evita efectele sale dăunătoare. La întreruptoarele de înaltă tensiune se folosesc mai multe metode de stingere rapidă a arcului. Din acest motiv există diferite tipuri constructive de întreruptoare de înaltă tensiune.

Comanda voită sau automată a întreruptoarelor este realizată cu ajutorul dispozitivelor de acționare și comandă. Acționarea trebuie să fie sigură și ușoară. În afară de dispozitivul de acționare propriu-zis, mai

sînt necesare *dispozitive de semnalizare*, care indică dacă aparatul este anclanşat şi dacă în instalaţia respectivă a apărut o stare anormală, şi *dispozitive de blocare*, care împiedică manevrele greşite.

● **Dispozitivele de acţionare** se construiesc în aşa fel încît să se poată folosi la mai multe tipuri de întreruptoare. Ele se montează de obicei pe aparatele respective sau lîngă ele.

Acţionarea manuală directă sau indirectă se întrebuinţează la întreruptoarele cu tensiuni nominale pînă la 35 kV. Constructiv se disting : *dispozitive de acţionare cu volan* şi *cu pîrghie*.

La dispozitivele cu pîrghie, închiderea întreruptorului se realizează prin rotirea pîrghiei în sus sau la dreapta. La dispozitivele cu volan, închiderea se realizează prin rotirea volanului în sensul acelor ceasornicului.

Întreruptoarele cu ulei de înaltă tensiune, au diferite forme constructive şi de aceea succesiunea operaţiilor de montare depinde de tipul şi de construcţia întreruptoarelor.

● **Schema generală tehnologică a instalării întreruptoarelor** comportă următoarele operaţii :

— verificarea întreruptorului şi a dispozitivului de acţionare :
— pregătirea pieselor de fixare şi susţinere a întreruptorului şi a dispozitivului de acţionare ;
— trasarea locului de instalare a întreruptorului în staţii şi pregătirea găurilor ;
— montarea pieselor de fixare şi a construcţiilor de susţinere ;
— montarea întreruptorului şi a dispozitivului de acţionare ;
— reglarea mecanică a întreruptorului şi a dispozitivului de acţionare ;
— reglarea contactelor întreruptorului ;
— umplerea cu ulei şi uscarea izolaţiei, fără decuvare (pentru întreruptoarele cu ulei mult) ;
— verificarea întreruptorului asamblat cu dispozitivul de acţionare ;
— ungerea părţilor mobile supuse frecării şi a contactelor ;
— legarea la bare şi la centura de pămînt ;
— probarea şi darea în exploatare.

● **Din punct de vedere organizatoric, instalarea întreruptoarelor, se poate realiza în două moduri :**

— verificarea generală a întreruptorului, punerea la punct, reglarea contactelor, precum şi uscarea izolaţiei şi umplerea cu ulei se execută în celulă, adică la locul de montaj ;

— verificarea, punerea la punct, reglarea etc., se execută, în prealabil, în atelierele şantierului ; întreruptorul se aduce la locul de montaj, unde se ansamblează cu dispozitivul de acţionare.

6. MONTAREA BARELOR

● **Generalităţi.** Prin montarea barelor unei staţii se înţelege instalarea barelor colectoare, legarea aparatelor electrice la barele colectoare şi legarea aparatelor între ele. *Barele colectoare* sînt barele care primesc energia de la sursele de alimentare şi apoi o distribuie. *Barele de derivaţie* leagă barele colectoare cu aparatele din apropiere, iar *barele de legătură* leagă aparatele între ele.

Barele se montează pe izolatoare suport sau de suspensie. Ca material pentru bare servește de obicei cuprul, oțelul și oțel-aluminiul, de formă dreptunghiulară, tubulară sau circulară. Alegerea materialului, a dimensiunilor și a secțiunii barelor, a distanțelor dintre bare și a punctelor de fixare se efectuează la proiectarea instalației.

La montarea barelor apare necesitatea realizării unui număr mare de legături între barele colectoare și derivațiile la aparate. În punctul de contact, strîngerea buloanelor poate slăbi cu timpul, ceea ce duce la pătrunderea umezelii și la oxidarea suprafețelor de contact, și deci la mărirea rezistenței de trecere și la supraîncălzirea contactului.

● **Montarea barelor** comportă următoarele *operații :*

— alegerea și îndreptarea barelor ;

— pregătirea șabloanelor pentru îndoirea, trasarea și găurirea barelor, confecționarea pieselor de dilatație ;

— trasarea barelor, pentru tăiere și îndoire ;

— tăierea segmentelor de bare necesare, cu ajutorul foarfecelor sau al ferăstraielor ;

— îndoirea barelor ;

— pregătirea prealabilă a suprafețelor de contact ;

— găurirea pentru legături ;

— instalarea clemelor de bare pe izolatoare ;

— montarea barelor (de probă) și legarea provizorie a barelor colectoare și a barelor de derivație ;

— trasarea și executarea găurilor în punctele de derivație ale barelor colectoare și în barele de derivație ;

— prelucrarea definitivă a suprafețelor de contact ;

— montarea definitivă și fixarea barelor colectoare, montarea derivațiilor ;

— reglarea și alinierea barelor ;

— vopsirea barelor.

E. EXPLOATAREA STAȚIILOR

Exploatarea stațiilor și chiar a posturilor de transformare reclamă din partea personalului de exploatare o bună pregătire profesională, cunoașterea stației, a echipamentelor instalației în stație și a modului de realizare a diferitelor manevre.

Deoarece cele mai frecvente operații sînt manevrele (repararea echipamentelor fiind în general în sarcina unui personal specializat), în cele ce urmează se vor da cîteva exemple și indicații.

Activitatea personalului trebuie astfel organizată, încît fiecare lucrător să aibă o imagine clară și precisă a succesiunii efectuării manevrelor, reparațiilor, ca și a celorlalte lucrări din instalațiile electrice respective.

Toate convorbirile operative trebuie să fie efectuate într-o formă clară, care să excludă absolut orice posibilitate de interpretare eronată a comenzii operative. Convorbirile trebuie să fie scurte, folosindu-se noțiuni bine determinate și definiții consacrate.

La formularea și la repetarea comenzilor operative trebuie indicate cu precizie următoarele : denumirea centralei sau a stațiilor de capăt unde se găsesc instalațiile cu care se execută manevrele, destinația echipamentului, numărul de ordine corespunzător al echipamentului, tensiunea, poziția aparatului în schema de comutație.

Persoanele care emit și primesc comenzile operative și comunicările privind executarea, sînt obligate să-și indice funcția și numele. Cel ce primește dispoziția de efectuare a manevrei este obligat să repete cu voce tare conținutul dispoziției primite.

Persoana care execută direct operațiile poate primi doar o singură comandă, care trebuie să cuprindă operații ce urmăresc realizarea unui singur scop, de exemplu : conectarea sau deconectarea unei linii, trecerea liniei de pe un sistem de bare pe altul, deconectarea tuturor plecărilor de pe o secție sau de la un sistem de bare pentru degajarea acesteia în vederea reparației sau a trecerii în rezervă etc.

Este interzis ca o singură comandă să întrunească operații ce nu urmăresc un scop unic (de exemplu scoaterea liniei din reparație și conectarea transformatorului care era în rezervă etc.).

Echipamentele electrice ale centralelor și stațiilor electrice pot fi :

— în funcțiune (aparatele de comutație ale echipamentului sînt conectate și se găsesc în sarcină) ;

— în rezervă „caldă“ (echipamentul este deconectat numai prin întreruptoare) ;

— în rezervă „rece“ (echipamentul este deconectat prin întreruptoare și separatoare) ;

— în reparație (echipamentul este deconectat și legat la pămînt, sînt instalate îngrădiri și puse plăci avertizoare conform normelor de tehnica securității în instalațiile electrice) ;

— în stare intermediară — sub tensiune (echipamentul este conectat prin aparatele de comutație numai dintr-o parte, fără să fie în sarcină).

În instalațiile de distribuție ale centralelor și stațiilor manevrele se execută pe baza unei dispoziții primite de la personalul operativ superior.

În cazuri speciale (incendiu, accidentare de persoane, calamități naturale) precum și la lichidarea avariilor, executarea manevrelor se poate face fără încunoștiințarea personalului superior, dar cu informarea ulterioară a acestuia.

Persoana care emite comanda de efectuare a manevrelor este obligată ca în prealabil să verifice, pe schema operativă, succesiunea operațiilor propuse. Cel ce emite comanda o poate considera executată numai după ce executantul raportează direct sau prin telefon executarea comenzii.

La stațiile deservite de două sau mai multe persoane, toate manevrele complexe (adică manevrele ce se execută la mai multe plecări), precum și manevrele simple din instalațiile care nu au dispozitive de blocare a separatoarelor, sînt executate de către două persoane. O persoană execută direct manevrele, iar cea de a doua controlează corectitudinea și succesiunea operațiilor executate. Persoana care controlează executarea manevrelor este cea cu funcție și calificare superioară.

● **Manevre cu separatoare.** *Închiderea separatoarelor* cu dispozitive de acționare manuale sau cu tijă trebuie executată rapid și cu mișcări precise, dar fără șocuri la capătul cursei. Deschiderea cuțitelor separatorului cînd se apropie de contactul fix (la capătul cursei cuțitelor) este categoric interzisă, deoarece duce la avarie. În poziția închisă, cuțitele separatorului trebuie să intre complet în contacte.

Deschiderea separatoarelor trebuie executată lent și cu atenție. În cazul apariției unui arc electric, în momentul îndepărtării cuțitelor de contactele fixe, separatorul trebuie închis repede la loc; operația trebuie întreruptă pînă la clarificarea cauzelor care au dus la apariția arcului. În poziția deschisă cuțitele separatorului trebuie să fie complet separate de contacte.

● **Manevre cu întreruptoare.** *Anclanșarea întreruptorului prin acționare manuală* trebuie efectuată rapid, aducînd pîrghia sau maneta pînă la opritor; în acest caz trebuie să se aprindă lampa de semnaliazre „închis".

În cazul acționării *la distanță*, apăsarea pe butonul „anclanșare" sau rotirea cheii de comandă trebuie efectuată pînă în momentul aprinderii lămpii de semnalizare „anclanșat".

Declanșarea manuală a întreruptorului trebuie efectuată prin rotirea ușoară a cheii de comandă pînă la refuz, prin manevrarea pîrghiei de acționare, sau apăsînd pe un buton special sau pe miezul bobinei de declanșare. În acest caz trebuie să se aprindă lampa de semnalizare „declanșat".

În cazul declanșării *la distanță*, cheia de comandă sau butonul trebuie acționate pînă în momentul aprinderii lămpii de semnalizare „declanșat".

Verificarea poziției întreruptorului după declanșare este obligatorie în toate cazurile, dacă după aceasta urmează manevre cu separatoarele, cu excepția cazurilor cînd separatoarele sînt comandate la distanță.

Poziția reală a întreruptorului trebuie verificată în special după indicatorul mecanic. Drept mijloace auxiliare pot servi lămpile de semnalizare și aparatele de măsurat ale liniei respective.

● **Succesiunea executării operațiilor.** Executarea operațiilor principale cu întreruptoare și separatoare trebuie să urmeze în următoarea succesiune:

a) la conectarea liniei:
— se închide separatorul de bare;
— se închide separatorul de linie;
— se anclanșează întreruptorul.

b) la deconectarea liniei:
— se declanșează întreruptorul;
— se deschide separatorul de linie;
— se deschide separatorul de bare;

● **Măsuri de tehnica securității necesare la efectuarea lucrărilor de către personalul operativ.** Pentru executarea în deplină securitate a manevrelor în instalațiile de distribuție din centrale și stații, personalul trebuie să acorde deosebită atenție la o serie de reguli, și anume:

— deconectarea părţilor conductoare, la care urmează să se execute lucrări ;

— deconectarea părţilor conductoare la care nu este exclusă o atingere sau o apropiere întîmplătoare la o distanţă periculoasă pentru securitatea personalului ;

— separarea instalaţiilor deconectate de părţile conductoare care se află sub tensiune ;

— luarea măsurilor care să preîntîmpine aplicarea din greşeală a tensiunii la locul de lucru ;

— montarea plăcilor avertizoare ;

— instalarea îngrădirilor provizorii din materiale izolante ;

— verificarea lipsei tensiunii la toate bornele echipamentului deconectat ;

— legarea la pămînt şi scurtcircuitarea părţilor conductoare deconectate, din toate părţile din care poate fi aplicată tensiunea ;

— montarea plăcii avertizoare „Lucraţi aici“ la locul de lucru.

Deconectarea trebuie efectuată astfel încît părţile deconectate să fie separate din toate părţile de părţile conductoare sub tensiune, prin întreruperi vizibile.

Deconectarea părţilor conductoare la care nu este exclusă o atingere sau o apropiere întîmplătoare la distanţă periculoasă se efectuează cînd distanţa faţă de locul de executare a lucrărilor este de minimum : pentru tensiunea nominală de 6 kV inclusiv — 0,35m ; pînă la 35 kV inclusiv — 0,6 m, pînă la 110 kV — 1,5 m, pînă la 220 kV — 3 m, pînă la 400—500 kV — 5 m.

O deosebită atenţie trebuie acordată posibilităţii transformării inverse a tensiunii joase prin transformatoare. Pentru înlăturarea acestui pericol trebuie deconectate transformatoarele de putere şi transformatoarele de măsură, conectate la echipamentul deconectat, şi de partea de tensiune joasă.

Pentru **preîntîmpinarea anclanşării de la sine sau din greşeală a întreruptoarelor şi separatoarelor** în circuitele dispozitivelor de acţionare, ce se pot comanda la distanţă, trebuie scoase siguranţele sau trebuie închis şi blocat ventilul mecanic de alimentare cu aer al dispozitivului de acţionare.

Toate dispozitivele de acţionare ale separatoarelor, accesibile persoanelor străine, trebuie blocate cu lacăt. Dispozitivele de acţionare ale separatoarelor cu comandă manuală trebuie blocate mecanic în poziţie deschisă.

La toate cheile de comandă şi la toate dispozitivele de acţionare ale întreruptoarelor şi separatoarelor cu ajutorul cărora poate fi aplicată tensiunea la locul de lucru, personalul care execută declanşarea va atîrna plăcile avertizoare : „Nu închideţi — se lucrează“.

CUPRINS

Cap. 1. **Transformatoare electrice** 3

A. Principiul de funcţionare 3

1. Descriere generală 3
2. Clasificare 4
3. Principiul de funcţionare al transformatorului 5
4. Regimurile de funcţionare ale transformatorului 8
5. Pierderile şi randamentul 10
6. Grupele de conexiuni ale transformatoarelor 11
7. Funcţionarea în paralel a transformatoarelor 17

B. Construcţia transformatoarelor 21

1. Miezul magnetic al transformatoarelor 21
2. Bobinele de joasă şi înaltă tensiune 24
3. Prizele de reglaj şi comutatorul 27
4. Schela transformatorului 27
5. Cuva şi capacul 28
6. Conservatorul de ulei 29
7. Releul de gaze 30
8. Bornele şi izolatoarele 30
9. Sistemul de răcire 42

C. Montarea transformatoarelor 36

1. Depozitarea transformatoarelor 36
2. Transportarea şi manipularea transformatorelor 37
3. Instalarea transformatoarelor 37

D. Exploatarea şi întreţinerea transformatoarelor de putere . . . 39

1. Conectarea şi deconectarea transformatoarelor 39
2. Exploatarea transformatoarelor în condiţii normale 41
3. Revizii periodice 42
4. Întreţinerea transformatoarelor 44
5. Uscarea transformatoarelor 46
6. Întreţinerea uleiului de transformator 47

E. Transformatoare speciale 47

1. Transformatoare de sudură 48
2. Autotransformatoare 50

Cap. II. **Maşini electrice rotative** 52

A. Producerea cîmpului magnetic în maşinile electrice de curent alternativ 52

1. Cîmp magnetiv alternativ 52
2. Cîmp magnetic învîrtitor 55
3. Descompunerea cîmpului alternativ cu repartiţie sinusoidală în două cîmpuri învîrtitoare 58

B. Construcţia maşinilor electrice 59

1. Clasificarea maşinilor electrice 59
2. Principalele tipuri de maşini electrice 60
3. Descrierea elementelor constructive ale maşinilor electrice . 65
4. Bobinajul maşinilor electrice 72

C. Ventilaţia maşinilor electrice 74

1. Incălzirea maşinilor electrice 74
2. Sisteme de ventilaţie a maşinilor electrice 75

D. Pierderile şi randamentul maşinilor electrice 76

1. Pierderi în fier 76
2. Pierderi prin frecări (pierderi mecanice) 77
3. Pierderi ohmice în bobinaje (pierderi în cupru) şi pierderi suplimentare 77
4. Randamentul 77

E. Maşina asincronă trifazată 78

1. Principiul de funcţionare 78
2. Pierderile, randamentul şi cuplul 81
3. Pornirea motorului asincron 85
4. Reglarea vitezei 89
5. Schimbarea sensului de rotaţie 89
6. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate 89

F. Motorul asincron monofazat 90

1. Principiul de funcţionare 90
2. Pornirea motorului asincron monofazat 91

G. Maşina sincronă 92

1. Generalităţi 92
2. Principiul de funcţionare al generatorului sincron 92
3. Funcţionarea în paralel a maşinilor sincrone 97
4. Principiul de funcţionare al motorului sincron 98
5. Metode de pornire a motorului sincron 99

H. Maşina de curent continuu 100

1. Principiul de funcţionare al generatorului de curent continuu. 100
2. Reacţia indusului 102
3. Comutaţia 103
4. Tipuri de generatoare de curent continuu 105
5. Caracteristicile de funcţionare ale generatoarelor de curent continuu 110

Cap. II. **Maşini electrice rotative** 52

A. Producerea cîmpului magnetic în maşinile electrice de curent alternativ 52

1. Cîmp magnetiv alternativ 52
2. Cîmp magnetic învîrtitor 52
3. Descompunerea cîmpului alternativ cu repartiţie sinusoidală în două cîmpuri învîrtitoare 55

B. Construcţia maşinilor electrice 58

1. Clasificarea maşinilor electrice 59
2. Principalele tipuri de maşini electrice 59
3. Descrierea elementelor constructive ale maşinilor electrice . 60
4. Bobinajul maşinilor electrice 65

C. Ventilaţia maşinilor electrice 72

1. Încălzirea maşinilor electrice 74
2. Sisteme de ventilaţie a maşinilor electrice 74

D. Pierderile şi randamentul maşinilor electrice 75

1. Pierderi în fier 76
2. Pierderi prin frecări (pierderi mecanice) 76
3. Pierderi ohmice în bobinaje (pierderi în cupru) şi pierderi suplimentare 77
4. Randamentul 77

E. Maşina asincronă trifazată 77

1. Principiul de funcţionare 78
2. Pierderile, randamentul şi cuplul 78
3. Pornirea motorului asincron 81
4. Reglarea vitezei 85
5. Schimbarea sensului de rotaţie 89
6. Utilizarea motoarelor asincrone trifazate 89

F. Motorul asincron monofazat 89

1. Principiul de funcţionare 90
2. Pornirea motorului asincron monofazat 90

G. Maşina sincronă 91

1. Generalităţi 92
2. Principiul de funcţionare al generatorului sincron 92
3. Funcţionarea în paralel a maşinilor sincrone 92
4. Principiul de funcţionare al motorului sincron 97
5. Metode de pornire a motorului sincron 98

H. Maşina de curent continuu 99

1. Principiul de funcţionare al generatorului de curent continuu. 100
2. Reacţia indusului 100
3. Comutaţia 102
4. Tipuri de generatoare de curent continuu 103
5. Caracteristicile de funcţionare ale generatoarelor de curent continuu 105

. 110

6. Principiul de funcționare al motorului de curent continuu . 111
7. Tipurile de motoare de curent continuu și caracteristicile lor. 113
8. Pornirea motoarelor de curent continuu 117
9. Reglarea vitezei motoarelor de curent continuu 119
Cap. III. **Montajul, exploatarea și întreținerea mașinilor electrice** . . . 122
A. Montarea mașinilor electrice 122
1. Transportul și depozitarea mașinilor electrice 122
2. Instalarea mașinilor electrice 123
3. Organele mecanice de transmisie și de fixare 129
4. Punerea în funcțiune a mașinilor electrice 131
B. Verificarea și repararea periodică 132
1. Organizarea și clasificarea reparațiilor 132
2. Lucrări curente pentru întreținerea mașinilor electrice . . 136
C. Exploatarea mașinilor electrice 143
1. Exploatarea corectă a motoarelor electrice din punctul de vedere al factorului de putere 143
2. Defectele mașinilor electrice 145
Cap. IV. **Convertizoare rotative** 148
A. Grupul motor-generator 148
1. Generalități 148
2. Grupul motor trifazat-generator de curent continuu . . 149
3. Grupul motor trifazat-generator monofazat sau generator trifazat de altă frecvență 149
4. Grupul motor de curent continuu-generator de curent continuu. 150
B. Comutatricea 151
Cap. V. **Redresoare cu semiconductoare** 153
A. Principiul de funcționare și parametrii redresoarelor 153
B. Construcția redresoarelor cu semiconductoare 155
1. Redresorul cu cuproxid 155
2. Redresorul cu seleniu 156
3. Redresoare cu germaniu și siliciu 157
4. Caracteristica tensiune-curent 157
C. Scheme pentru redresarea ambelor alternanțe 160
1. Scheme pentru redresarea curentului alternativ monofazat . 160
2. Scheme pentru redresarea curentului alternativ trifazat . 162
Cap. VI. **Îmbunătățirea factorului de putere** 165
A. Generalități 165
1. Definirea și importanța factorului de putere 165
2. Elementele care conduc la scăderea factorului de putere . 165
3. Efectele negative ale factorului de putere scăzut 167
B. Măsuri și mijloace pentru îmbunătățirea factorului de putere . 169
1. Măsuri pentru îmbunătățirea factorului de putere . . . 169
2. Mijloace pentru îmbunătățirea factorului de putere . . . 171

Cap. VII. **Aparataj electric de joasă tensiune** 174
A. Definire și clasificare 174
B. Principalele elemente constructive ale aparatelor electrice . . 174
1. Contactele electrice 175
2. Dispozitive pentru stingerea arcului electric 179
C. Mărimi caracteristice ale aparatelor electrice 180
D. Aparate de conectare 181
1. Generalități 181
2. Separatoare de joasă tensiune 182
3. Intreruptoare și comutatoare cu pîrghie 182
4. Intreruptoare și comutatoare pachet 185
5. Intreruptoare și comutatoare cu came 186
6. Intreruptoare și comutatoare pentru instalații de iluminat . 189
7. Prize, fișe și cuple 190
E. Aparate pentru protecția instalațiilor și mașinilor electrice . . 193
1. Generalități 193
2. Siguranțe fuzibile 194
3. Relee de protecție 199
F. Aparate pentru comanda manuală și reglajul mașinilor electrice . 208
1. Generalități 208
2. Aparate pentru conectarea la rețea 208
3. Comutatoare stea-triunghi 209
4. Inversoare de sens 209
5. Controlere 210
6. Comutatoare de număr de poli 212
7. Reostate 212
G. Aparate pentru comanda automată și protecția mașinilor și instalațiilor electrice 214
1. Generalități 214
2. Contactoare și ruptoare 215
3. Contactoare cu relee 220
4. Intreruptoare automate 222
H. Exploatarea, întreținerea și repararea aparatelor electrice de joasă tensiune 230
1. Alegerea aparatelor electrice de joasă tensiune 230
2. Instalarea aparatelor electrice de joasă tensiune 230
3. Intreținerea aparatelor electrice de joasă tensiune 231
4. Exploatarea aparatelor electrice de joasă tensiune 234
5. Repararea aparatelor electrice de joasă tensiune 235
6. Reglarea și verificarea aparatelor electrice de joasă tensiune reparate 240
Cap. VIII. **Protecția liniilor aeriene** 246
A. Generalități 246
B. Metode de protecție împotriva supratensiunilor 246
C. Eclatoare 247

D. Descărcătoare 248
1. Realizări constructive 249
2. Exploatarea descărcătoarelor 251
E. Bobine de reactanță 252
Cap. IX. Noțiuni de acționări electrice și automatizări 254
A. Acționări electrice 254
1. Principiile generale ale acționării electrice 254
2. Principiile de alcătuire a schemelor pentru acționare electrică 256
3. Exemple de scheme de comandă și acționări electrice . . 259
B. Structura generală a unui sistem automat 264
1. Sisteme tehnice neautomate și automate 264
2. Funcționarea și alcătuirea sistemelor automate 265
C. Elementele funcționale ale unui sistem automat 269
1. Generalități 269
2. Traductoare 271
3. Amplificatoare 277
4. Stabilizatoare 284
5. Relee 285
6. Elemente de execuție 291
7. Sisteme de transmitere a unghiurilor 297
D. Exemplu de automatizare a unei instalații 298
E. Sisteme automate 299
Cap. X. Linii de înaltă tensiune 304
A. Generalități 304
B. Linii aeriene 304
1. Stîlpii liniilor electrice aeriene 304
2. Trasarea și pichetarea liniilor aeriene 304
3. Săparea gropilor 305
4. Fasonarea și alcătuirea stîlpilor 306
5. Transportul și manipularea stîlpilor 308
6. Plantarea stîlpilor 308
7. Montarea lanțurilor de izolatoare 309
8. Conductoarele liniilor aeriene 310
9. Transportul conductoarelor 310
10. Desfășurarea conductoarelor 310
11. Ridicarea și întinderea conductoarelor 310
C. Linii subterane 311
1. Cabluri de înaltă tensiune 311
2. Manșoane de legătură și cutii terminale 312
3. Transportul cablurilor și săparea șanțurilor 314
4. Pozarea cablurilor 315

Cap. XI. Staţii şi posturi de transformare 317

A. Rolul şi clasificarea staţiilor 317

1. Generalităţi 317
2. Clasificarea staţiilor 320

B. Scheme de alcătuire a staţiilor 320

1. Staţiile cu sistem simplu de bare 320
2. Staţiile cu sistem dublu de bare 322

C. Construcţia staţiilor 323

1. Generalităţi 323
2. Instalaţii interioare 323
3. Instalaţii exterioare 326
4. Staţii din celule prefabricate 326

D. Instalarea transformatoarelor, aparatelor de înaltă tensiune şi a dispozitivelor anexe în staţii şi posturi de transformare . . . 327

1. Generalităţi 327
2. Instalarea transformatoarelor de măsură 328
3. Instalarea separatoarelor 328
4. Instalarea siguranţelor 331
5. Instalarea întreruptoarelor 332
6. Montarea barelor 333

E. Exploatarea staţiilor 334

Coli de tipar : 21,50

Întreprinderea Poligrafică Craiova
Str. Mihai Viteazul nr. 4
Republica Socialistă România
Comanda nr. 277/2257